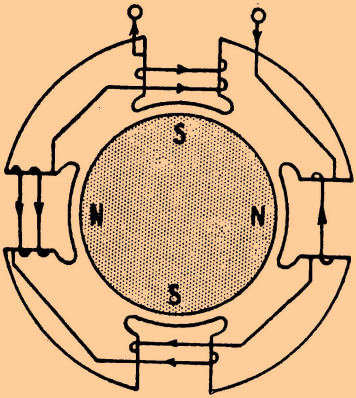
# Rebobinage
# des
# Moteurs Electriques



CHAPITRE V

# Rebobinage des moteurs électriques

Les machines électriques comportent des bobinages inducteurs et induits. Les uns servent à la création d'un champ électromagnétique, les autres produisent des réactions sur les premiers, telles, qu'il y a naissance d'un couple moteur faisant tourner l'organe mobile de la machine.

Dans ce chapitre, nous allons étudier successivement tous les genres d'enroulements utilisés dans les moteurs à courant continu et à courants alternatifs. Nous en dégagerons les procédés pratiques de rebobinage, en indiquant les précautions indispensables à prendre pour mener à bien ce travail assez délicat.

## I. — MACHINES A COURANT CONTINU

Les inducteurs et l'induit sont parcourus par du courant continu. Nous prions le lecteur de bien vouloir se reporter à ce que nous avons dit au sujet des différentes connexions à établir entre les enroulements inducteurs et l'induit, suivant le type du moteur.

### Les inducteurs.

Les bobines inductrices sont supportées par les noyaux polaires. Le sens des enroulements doit être tel qu'il y ait production de pôles alternés.

Dans une machine bipolaire, les pôles sont diamétralement opposés.

Dans une machine tétrapolaire, les pôles de même nom se trouvent placés suivant un même diamètre.

Les bobines sont absolument semblables pour une machine déterminée. Ce sont simplement les connexions entre bobines qui doivent être observées.

Considérons le cas d'un moteur bipolaire (fig. 263-264). Le courant arrive par le pôle +, la bobine N étant enroulée

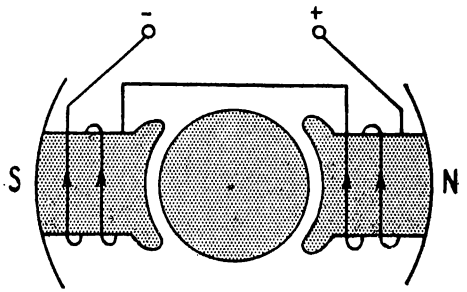



FIG. 263. — *Machine bipolaire. Les pôles N et S indiqués sur la figure s'appliquent évidemment côte épanouissement.*

dans le sens indiqué sur la figure, il y a naissance d'un pôle nord (règle du tire-bouchon). La bobine S devra donc produire un pôle sud et être connectée en conséquence.

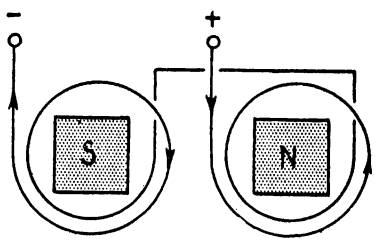



FIG. 264. — *Sens des enroulements sur les inducteurs d'un moteur bipolaire.*

Dans un moteur tétrapolaire (fig. 265-266), nous remarquons que les quatre bobines inductrices sont branchées comme si nous avions relié en série deux systèmes inducteurs de moteurs bipolaires. On le vérifie facilement en examinant le sens du courant dans chaque bobine.

Généralement, les bobines sont exécutées sur gabarit en bois (fig. 267), ensuite montées sur les noyaux polaires. Le gabarit utilisé doit avoir une joue amovible pour permettre le démontage de l'enroulement. Le noyau du gabarit

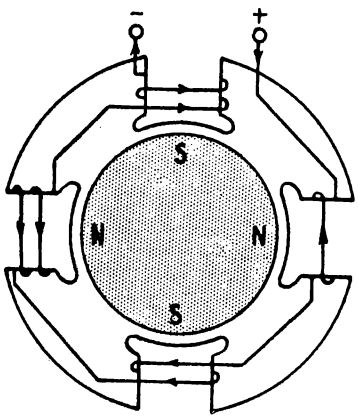



FIG. 265. — *Machine tétrapolaire.*

est entouré d'une feuille de presspahn, qui fera corps avec la bobine à monter sur le pôle inducteur. Bien entendu, le diamètre du gabarit sera établi de telle façon que l'en-

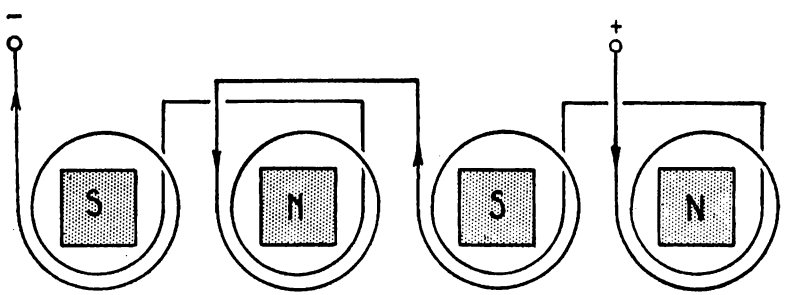



FIG. 266. — *Sens des enroulements sur les inducteurs d'une machine tétrapolaire.*

roulement viendra s'engager sans jeu sur le pôle. Pour empêcher la bobine de se déformer avant sa mise en place, on ménage des saignées dans la forme pour passer une ficelle ou un fil recuit guipé, et attacher provisoirement la bobine en attendant l'enrubannage.

Pour l'enroulement, on monte le gabarit sur un tour à faible vitesse, soit sur un système quelconque muni d'une manivelle et permettant l'arrêt instantané. Le fil à bobiner se place sur un dévidoir, dont on doit pouvoir freiner la rotation de façon à donner une tension suffisante au fil. Les différentes couches de l'enroulement doivent former des spires jointives, bien serrées, en ayant soin de ne pas blesser l'isolant. Dans cette opération, le fil est guidé par une réglette de bois qui sert également à appliquer chaque spire sur la précédente.

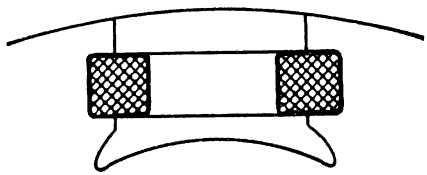


FIG. 267. — *Bobine inductrice enrubannée montée sur noyau polaire.*

L'entrée et la sortie de la bobine sont équipées d'un souplisso protecteur. L'enroulement terminé, on le ligature avec la ficelle prévue à cet effet dans les joues du gabarit ; on démonte ce dernier et on enrubanne soigneusement. La bobine est ensuite plongée dans un récipient contenant un vernis gras, puis mise à sécher dans une étuve.

Sur les machines à bobiner, un compte-tours est prévu ; il est donc facile d'arrêter le bobinage en temps voulu. Cependant, il n'est pas toujours commode de connaître le nombre exact de spires, dans le cas d'un rebobinage par exemple.

On peut alors sectionner l'ancienne bobine inutilisable et compter le nombre de fils dans la section : il est égal au nombre de spires.

Un autre moyen consiste à démonter la bobine intacte et à la peser ; on place alors sur le dévidoir le même poids de fil. Le fil employé ayant évidemment les mêmes caractéristiques (diamètre, isolement, etc.).

### L'induit.

Dans le fonctionnement des dynamos et des moteurs, nous avons supposé que les spires de l'induit étaient enroulées sur un anneau. L'anneau gramme est abandonné depuis longtemps. Actuellement, l'induit en tambour est seul utilisé.

La figure 268 représente l'enroulement théorique de l'induit connecté sur le collecteur. L'ensemble des spires comprises entre deux lames du collecteur s'appelle une section (fig. 269). Les fils contenus dans une même encoche

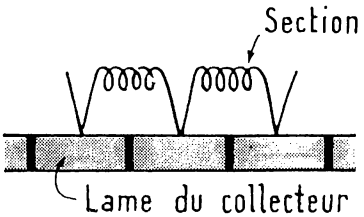



FIG. 268. — *Section théorique.*

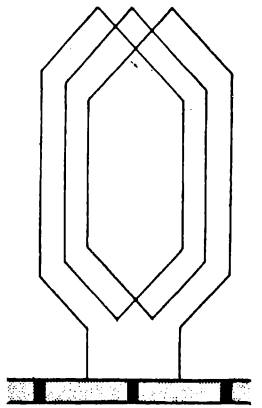


FIG. 269. — *Section schématisée.*

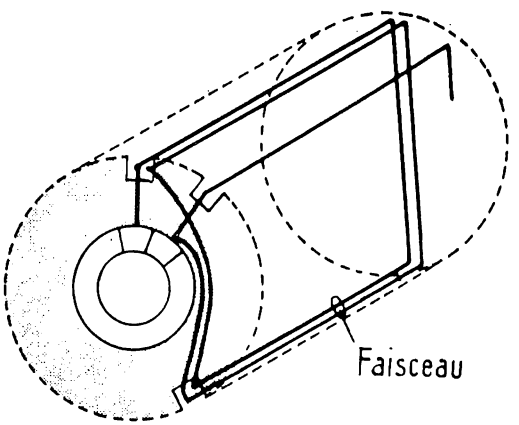



FIG. 270. — *Section mise en place.*

et faisant partie de la même section constituent un faisceau (fig. 270). Une section se compose donc de deux faisceaux placés dans deux encoches différentes. Habituellement, on place deux sections dans des mêmes encoches ; elles sont

alors enrubannées ensemble et portent le nom de bobine. Evidemment, la bobine comporte alors quatre fils de connexion, puisque les deux sections ne sont pas reliées aux mêmes lames du collecteur.

La figure 271 représente une bobine à deux sections. Nous remarquons que l'un des faisceaux de la section 1 occupe le bas de l'encoche, alors que l'autre faisceau occupe le haut de l'encoche suivante.

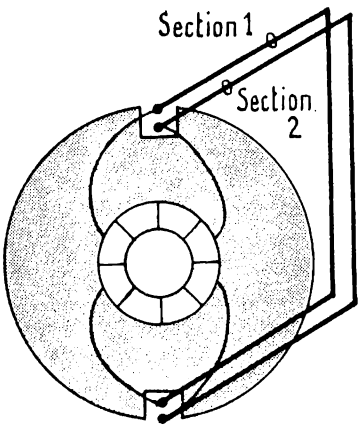



FIG. 271. — *Bobine à deux sections mise en place.*

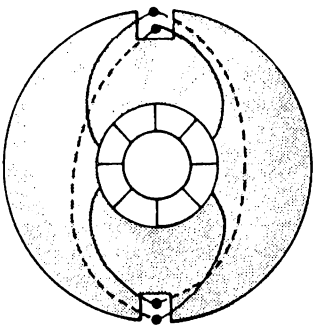


FIG. 272. — *Représentation simplifiée de deux sections Par exemple, la section 1 part de la lame du collecteur, passe dans le haut de l'encoche supérieure, côté postérieur de l'induit (trait pointillé), bas de l'encoche inférieur et lame du collecteur. C'est la représentation frontale.*

**Représentation des enroulements.**

Pour simplifier la représentation des enroulements sur l'induit, on ne dessine que la face côté collecteur des encoches. Les faisceaux placés dans ces dernières sont indiqués par un point, la partie de la spire en arrière du tambour par un pointillé et la partie en avant, c'est-à-dire côté collecteur, par un trait continu. Par exemple, la représentation des deux sections ci-avant sera la suivante (fig. 272).

Enfin, si l'on suppose l'induit et le collecteur développés suivant une génératrice du tambour, nous obtiendrons le développement panoramique.

Dans l'exemple de la figure 273 et pour simplifier la représentation, nous considérons seulement un fil par faisceau. Partant de la lame 1, nous entrons dans la partie supérieure de l'encoche 1 (trait continu), nous passons côté postérieur de la machine pour venir dans la partie inférieure de l'encoche 4 (trait pointillé), connexion sur la lame 2 de la fin de la première spire avec le commencement de la deuxième. Cette deuxième spire entre dans la

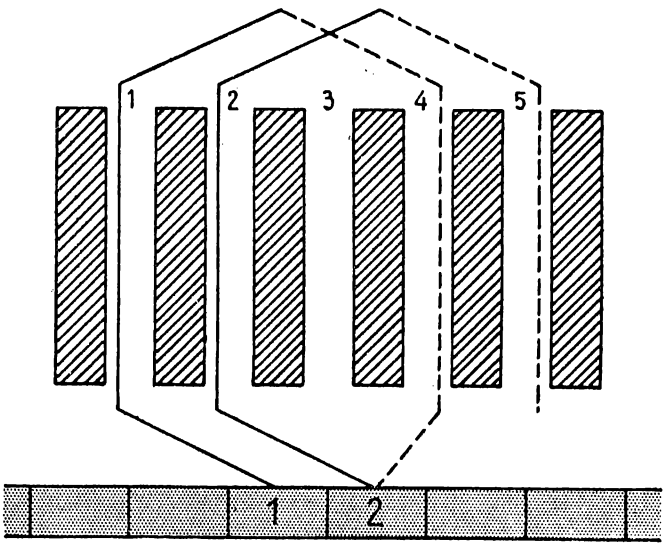



FIG. 273. — *Représentation panoramique d'un enroulement induit.*

partie supérieure de l'encoche 2, pour venir à une autre lame du collecteur en passant par la partie inférieure de l'encoche 5. Nous constatons que les deux spires (sections) sont bien en série. Nous continuons ainsi jusqu'à épuisement des encoches. Ce type d'enroulement est dit : imbriqué.

**Les différentes sortes d'enroulements induits.**

On distingue deux catégories d'enroulements induits. Les enroulements simples adoptés sur les machines de petite puissance et les enroulements multiples. Ces enroulements peuvent être imbriqués ou ondulés.

Dans le type imbriqué, les sections reliées en série sont voisines sur l'induit et, par conséquent, sont soumises à

l'influence d'un même pôle ; elles ont également des positions voisines sur les lames du collecteur. Dans le type ondulé, les sections reliées en série sont soumises à deux pôles de même nom (machines multipolaires).

La figure 274 représente le type d'enroulement imbriqué dont le principe est schématisé figure 273. Dans le cas présent, nous considérons qu'il y a plusieurs fils par faisceau, c'est-à-dire que, partant de la lame 1, nous passons

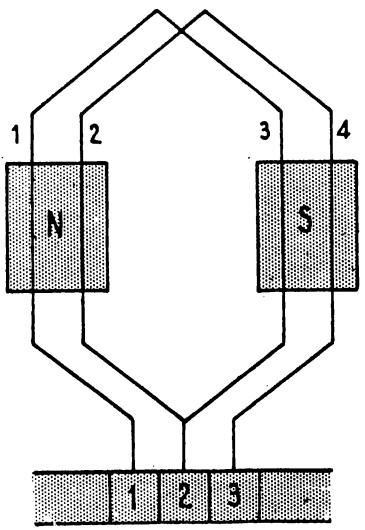



FIG. 274. — *Enroulement imbriqué. Développement panoramique.*

par l'encoche 1, ensuite par l'encoche 3 et nous revenons encore aux encoches 1 et 3 sans nous arrêter au collecteur, et ceci jusqu'à ce que la section ait le nombre de spires voulu. Alors nous fixons l'extrémité de la section à la lame 2. De là, il faut une deuxième section qui passe successivement par les encoches 2 et 4, pour venir aboutir à la lame 3, et ainsi de suite.

Les figures 275-276 sont le type schématisé d'un enroulement ondulé. Il est ainsi appelé parce que le fil suit un tracé ondulé. Pour simplifier, nous considérons le trajet d'un fil simplement. Partant de la lame (a), nous entrons dans une encoche, ensuite nous passons par la partie postérieure de l'induit, nous revenons en passant dans une autre

encoche pour nous relier à une autre lame (g) du collecteur. Nous continuons comme précédemment de la lame (g) à (m). Intentionnellement, nous avons appelé les lames (a), (g), (m) pour bien montrer que ces lames ne sont pas

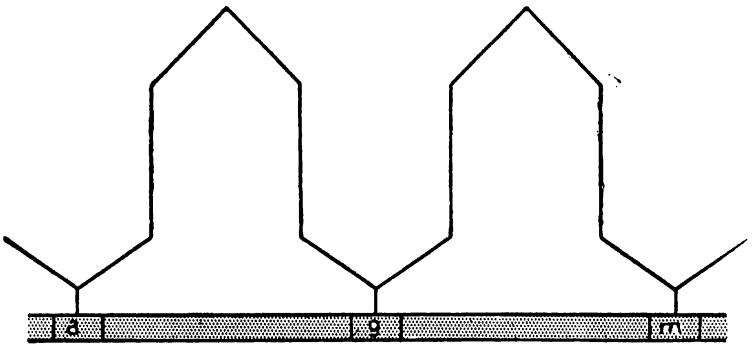



FIG. 275. — *Type d'enroulement ondulé.*

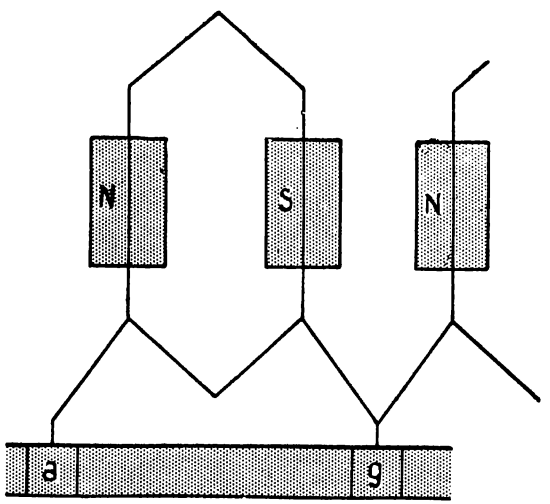



FIG. 276. — *Enroulement ondulé. Développement panoramique.*

voisines sur le collecteur, dans le cas de l'enroulement imbriqué.

Dans le domaine pratique, nous savons qu'il y a plusieurs fils dans un faisceau. Sur la figure 276 suivons le trajet des spires. De la lame (a) nous entrons dans une encoche placée sous le pôle nord ; nous venons dans une

encoche située sous le pôle suivant, et nous repassons dans la première encoche sans nous connecter au collecteur. La section ayant le nombre de spires voulu, nous fixons l'extrémité du fil à la lame (g), et nous continuons le bobinage de la deuxième section pour aboutir à la lame (m).

**Pas de l'enroulement.**

Dans les enroulements induits, il y a deux pas à considérer.

1° Pour établir la largeur d'une section, il faut compter le nombre de faisceaux à franchir quand, partant du pre-

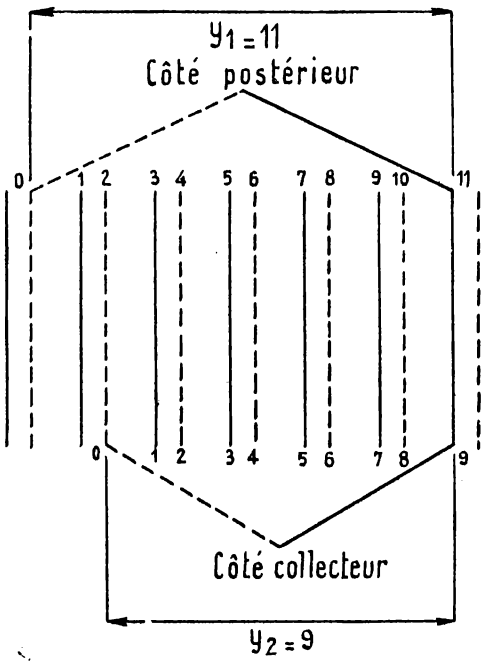



FIG. 277. — *Enroulement imbriqué* $Y_1 = 11$, $Y_2 = 9$.

mier faisceau de la section, on progresse jusqu'au deuxième. Ce nombre est représenté par $Y_1$.

2° Pour relier les sections au collecteur, il faut également compter le nombre de faisceaux dont on progresse quand, partant de l'un des faisceaux d'une section reliée

à une lame, on rencontre le faisceau d'une autre section connecté à la même lame du collecteur. On représente ce nombre par $Y_2$. Connaissant $Y_1$ et $Y_2$, il est alors possible de placer les sections et de les connecter au collecteur.

Prenons par exemple la figure 277, qui est le début d'un enroulement imbriqué et considérons une section vue du côté postérieur de l'induit. Le fil O est relié au fil 11. Comptons le nombre de faisceaux rencontrés, sans faire intervenir le premier (O) ; il y en a 11, donc le pas $Y_1 = 11$. L'unité de pas est le faisceau.

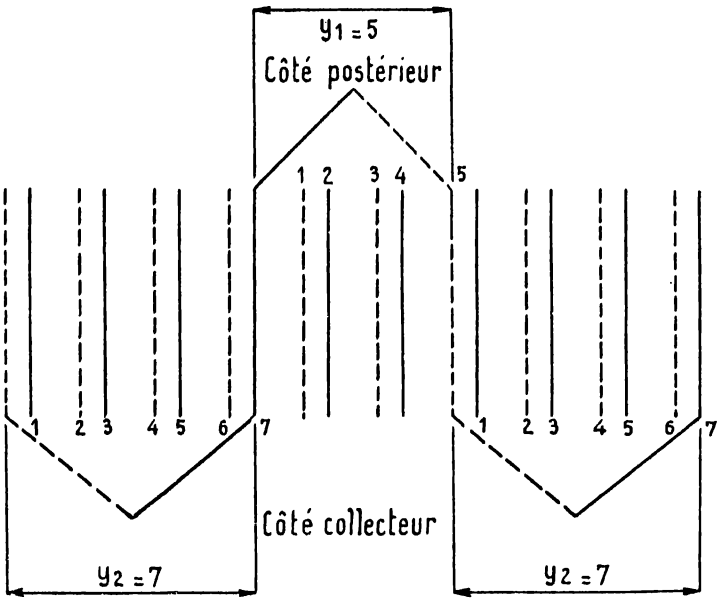



FIG. 278. — *Enroulement ondulé :* $Y_1 = 5$, $Y_2 = 7$.

Examinons le côté collecteur de la section. En faisant la même opération, nous en déduisons que $Y_2 = 9$.

En ce qui concerne l'enroulement ondulé, nous pouvons constater que $Y_1 = 5$ et $Y_2 = 7$ (fig. 278).

Pour conclure, nous nous rendons bien compte que pour établir un bobinage, il faut absolument connaître les pas $Y_1$ et $Y_2$.

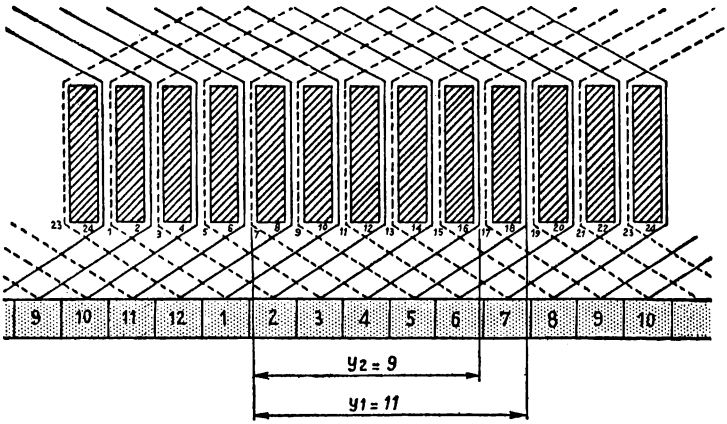



FIG. 279. — *Enroulement imbriqué pour moteur bipolaire. Pas de l'enroulement* $Y_1 = 11$, $Y_2 = 9$.

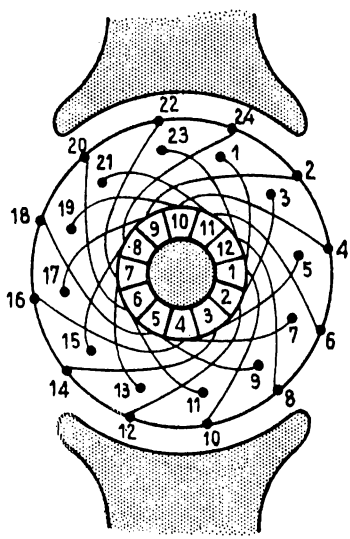



FIG. 280. — *Enroulement imbriqué pour moteur bipolaire (représentation frontale).*

**Enroulement imbriqué.**

A titre d'exemple, nous allons construire un enroulement imbriqué pour moteur bipolaire (fig. 279-280).

Le collecteur comprend 12 lames et l'induit 12 encoches. Pas $Y_1 = 11$, et $Y_2 = 9$. Il y a deux faisceaux par encoche.

Dans le développement panoramique, nous avons indiqué les pas $Y_1$ et $Y_2$. Sur la projection frontale du bobinage de l'induit, les conducteurs situés à l'arrière ne sont pas représentés pour ne pas surcharger la figure.

Considérons le développement panoramique en supposant pour simplifier, la section constituée d'une seule spire. Les lames du collecteur sont numérotées de 1 à 12 et les faisceaux de 1 à 24.

1° Le pas côté postérieur est $Y_1 = 11$.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Donc le faisceau | 1 | est relié au faisceau | 12 |
| — | 3 | — | 14 |
| — | 5 | — | 16 |
| — | 7 | — | 18 |
| — | 9 | — | 20 |
| — | 11 | — | 22 |
| — | 13 | — | 24 |
| — | 15 | — | 2 |
| — | 17 | — | 4 |
| — | 19 | — | 6 |
| — | 21 | — | 8 |
| — | 23 | — | 10 |

2° Le pas côté collecteur est $Y_2 = 9$.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Donc sur la lame | 1 | aboutissent les faisceaux | 1 et 10 |
| — | 2 | — | 3 — 12 |
| — | 3 | — | 5 — 14 |
| — | 4 | — | 7 — 16 |
| — | 5 | — | 9 — 18 |
| — | 6 | — | 11 — 20 |
| — | 7 | — | 13 — 22 |
| — | 8 | — | 15 — 24 |
| — | 9 | — | 17 — 2 |
| — | 10 | — | 19 — 4 |
| — | 11 | — | 21 — 6 |
| — | 12 | — | 23 — 8 |

Il est facile, de la vue panoramique, de passer à la vue frontale ou inversement. Dans cette dernière vue, nous avons numéroté les faisceaux situés dans le fond des encoches (pointillé) par les nombres impairs de 1 à 23, et les faisceaux situés dans la partie supérieure des encoches par les nombres pairs de 2 à 24.

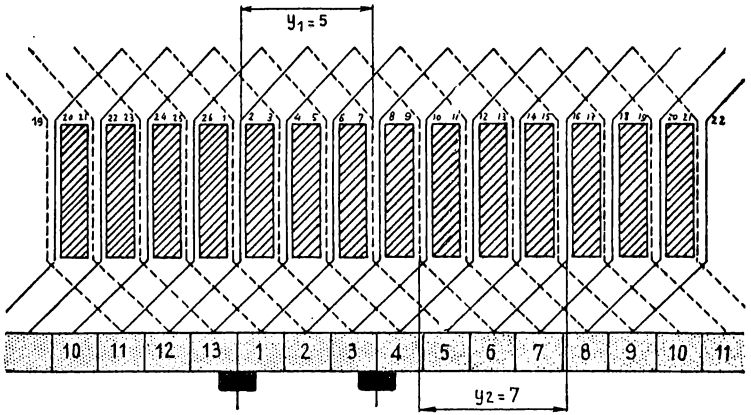



FIG. 280. — *Enroulement ondulé pour machine tétrapolaire* (développement panoramique).
$Y_1 = 5$, $Y_2 = 7$.

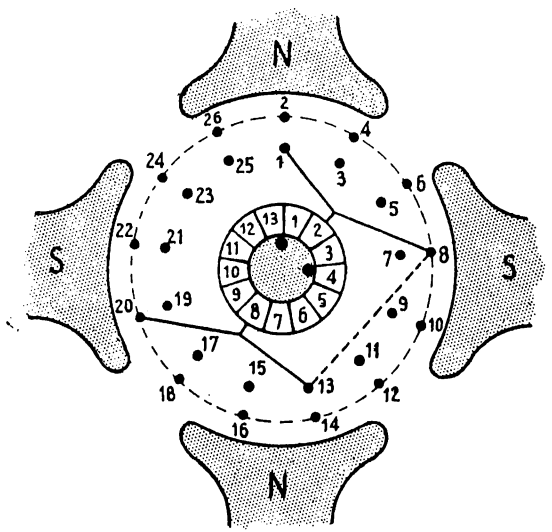



FIG. 282. — *Vue frontale d'un enroulement ondulé pour machine tétrapolaire.*

Sur cette figure les faisceaux figurés à l'arrière de l'induit n'étant pas représentés, le pas $Y_2 = 9$ côté collecteur est seul visible. Exemple : le faisceau 1 est relié au faisceau 10, et ainsi de suite en suivant le tableau établi pour le développement panoramique.

**Enroulement ondulé.**

L'exemple d'enroulement ondulé que nous prenons a pour pas : $Y_1 = 5$ ; $Y_2 = 7$ (fig. 281-282).

L'induit possède 13 encoches et le collecteur 13 lames. L'inducteur est tétrapolaire (4 pôles).

Dans le développement panoramique, les traits pointillés dans les encoches représentent les conducteurs placés au fond, les traits continus les conducteurs (faisceaux) placés en surface.

Sur la projection frontale, les conducteurs de la circonférence extérieure sont ceux qui sont situés dans le haut des encoches. Les conducteurs de la circonférence interne sont situés dans le fond.

Dans les deux vues, nous avons numéroté les faisceaux de 1 à 26, et les lames du collecteur de 1 à 13.

Considérons la vue panoramique. Le conducteur 8 situé dans le haut de l'encoche (trait continu) doit être relié côté collecteur au conducteur 1 (fond de l'encoche) (pas $Y_2 = 7$), en passant par la lame 2 du collecteur. Du côté postérieur au collecteur, le conducteur 8 sera relié également au conducteur 13 (pas $Y_1 = 5$). D'après ce principe, il sera aisé de placer tous les conducteurs sur la superficie de l'induit.

Signalons que la numérotation des faisceaux et des lames du collecteur est tout à fait arbitraire. Elle sert simplement de repère pendant le bobinage ou le rebobinage partiel.

Sur la vue frontale, nous avons simplement tracé quelques conducteurs.

Il est à remarquer, bien que le moteur ait quatre pôles, le bobinage n'a que deux voies d'enroulement, et, de ce fait, il n'y a que deux balais décalés de 90 degrés.

Suivons le circuit parcouru par les différents conducteurs, en partant du conducteur 1 par exemple.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Conducteurs | 1 | et 22 | reliés | et lame | 9 |
| — | 15 | — 10 | — | — | 3 |
| — | 3 | — 24 | — | — | 10 |
| — | 17 | — 12 | — | — | 4 |
| — | 5 | — 26 | — | — | 11 |
| — | 19 | — 14 | — | — | 5 |
| — | 7 | — 2 | — | — | 12 |
| — | 21 | — 16 | — | — | 6 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| — | 9 | — 4 | — | — | 13 |
| — | 23 | — 18 | — | — | 7 |
| — | 11 | — 6 | — | — | 1 |
| — | 25 | — 20 | — | — | 8 |
| — | 13 | — 8 | — | — | 2 |

et retour au conducteur 1.

Le circuit est ainsi fermé puisque nous revenons sur le conducteur 1.

Dans la présentation frontale, nous avons amorcé l'enroulement pour ne pas compliquer la figure. Le conducteur 1 est relié au conducteur 8 en passant par la lame 2. Le conducteur 8 passe par la partie postérieure de l'induit (trait pointillé) pour rejoindre le conducteur 13. Ce dernier est relié au 20 en passant par la lame 8, et ainsi de suite.

**Enroulement imbriqué pour machines multipolaires.**

Dans les machines bipolaires on emploie indifféremment l'enroulement imbriqué ou ondulé. Il n'en est pas de même dans les machines multipolaires, où le type imbriqué est toujours indiqué lorsque la tension est relativement faible et l'intensité élevée (fig. 283).

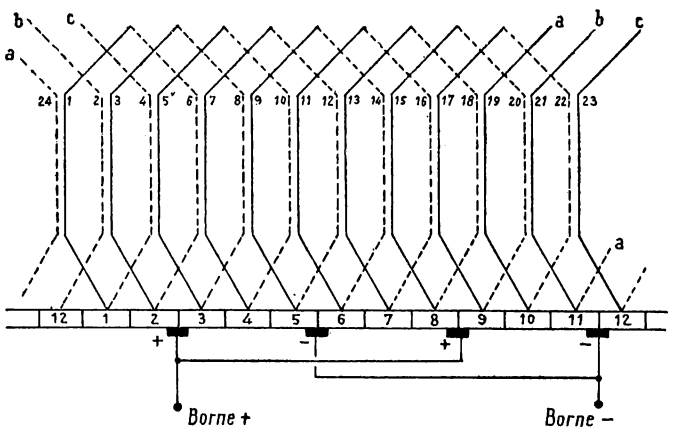



FIG. 283. — *Enroulement imbriqué pour machine tétrapolaire.* Pas $Y_1 = 5$ *et* $Y_2 = 3$.

Exemple d'une machine tétrapolaire de 12 lames au collecteur et 24 faisceaux. Les pas sont $Y_1 = 5$ et $Y_2 = 3$. En effet, côté postérieur (côté opposé au collecteur), le conducteur 1 est relié au conducteur 6, c'est-à-dire 6 — 1 = 5. De même côté collecteur, le conducteur 1 est relié

au conducteur 4, c'est-à-dire 4 — 1 = 3, donc $Y_2 = 3$. Le circuit est ainsi fermé par :

lame 1 : faisceaux 1 et 6 ; lame 2 : 3 et 8 ; lame 3 : 5 et 10 ; lame 4 : 7 et 12 ; lame 5 : 9 et 14 ; lame 6 : 11 et 16 ; lame 7 : 13 et 18 ; lame 8 : 15 et 20 ; lame 9 : 17 et 22 ; lame 10 : 19 et 24 ; lame 11 : 21 et 2 ; lame 12 : 23 et 4 ; fermeture du circuit par retour à la lame 1.

Les quatre balais sont reliés comme indiqué sur la figure.

**Les enroulements multiples.**

Nous avons étudié jusqu'à présent les enroulements simples, types imbriqué et ondulé, qui sont employés dans les machines de faible puissance.

Les enroulements multiples sont une association de plusieurs enroulements simples identiques, régulièrement répartis sur l'induit. Il existe deux types d'enroulements multiples. Si l'on prend des enroulements simples imbriqués, on obtient le type multiple en parallèle. Si l'on consi-

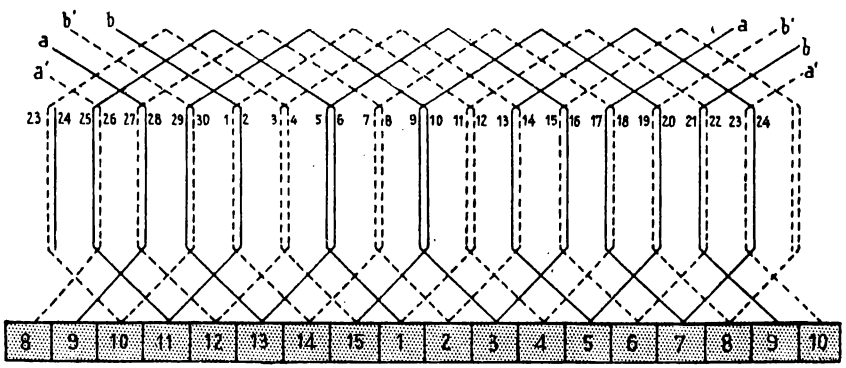



FIG. 284. — *Enroulement multiple imbriqué d'un moteur tétrapolaire.* Pas $Y_1 = 11$ *et* $Y_2 = 7$.

dère des enroulements simples ondulés, on obtient le type multiple série-parallèle. Ce dernier n'est utilisé que sur les machines de tension élevée. Nous ne nous occuperons donc que de l'enroulement multiple en parallèle.

Nous allons prendre en exemple un moteur tétrapolaire ayant 15 lames au collecteur et deux enroulements imbriqués identiques de pas : $Y_1 = 11$ et $Y_2 = 7$ (fig. 284).

Ces deux enroulements sont en série et ne forment qu'un circuit fermé.

Sur la figure l'un des enroulements est indiqué en trait continu, l'autre en trait pointillé.

Vérifions d'abord le pas des deux enroulements.

1° *Enroulement en trait continu sur la figure :*

— Côté postérieur : le faisceau 5 est relié au faisceau 16, donc $16 - 5 = 11$ et $Y_1 = 11$ ;

— Côté collecteur : le faisceau 5 est relié au faisceau 12 par l'intermédiaire de la lame 1 ; donc le pas est

$12 - 5 = 7$, c'est-à-dire $Y_2 = 7$.

2° *Enroulement en pointillé :*

— Côté postérieur : le faisceau 3 est relié au faisceau 14, c'est-à-dire $Y_1 = 14 - 3 = 11$ ;

— Côté collecteur : le faisceau 3 est relié au faisceau 10 par l'intermédiaire de la lame 15, c'est-à-dire

$Y_2 = 10 - 3 = 7$.

Suivons ces deux enroulements.

PREMIER ENROULEMENT

Partons de la lame 1.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| De la lame | 1, | nous passons | par | les faisceaux | 5 | et 16 |
| — | 3 | — | — | | 9 | — 20 |
| — | 5 | — | — | | 13 | — 24 |
| — | 7 | — | — | | 17 | — 28 |
| — | 9 | — | — | | 21 | — 2 |
| — | 11 | — | — | | 25 | — 6 |
| — | 13 | — | — | | 29 | — 10 |
| — | 15 | — | — | | 3 | — 14 |

retour à la lame 2.

Nous remarquons que nous avons toujours pris les lames impaires du collecteur.

DEUXIÈME ENROULEMENT

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| De la lame | 2, | nous passons | par | les faisceaux | 7 | et 18 |
| — | 4 | — | — | | 11 | — 22 |
| — | 6 | — | — | | 15 | — 26 |
| — | 8 | — | — | | 19 | — 30 |
| — | 10 | — | — | | 23 | — 4 |
| — | 12 | — | — | | 27 | — 8 |
| — | 14 | — | — | | 1 | — 12 |

retour à la lame 1.

L'enroulement total est fermé.

Nous constatons que, partant d'une lame paire du collecteur, la section revient sur la lame paire suivante. Il en est de même en ce qui concerne les lames impaires. En résumé, une section déterminée se raccorde au collecteur en laissant

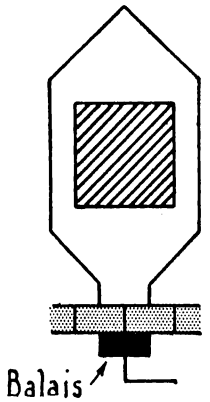



FIG. 285. — *Section imbriquée. Balais sur la ligne des pôles.*

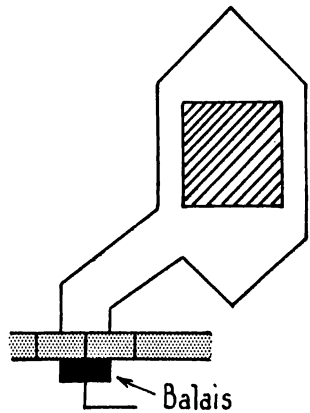



FIG. 286 .— *Section imbriquée. Balais entre la ligne des pôles.*

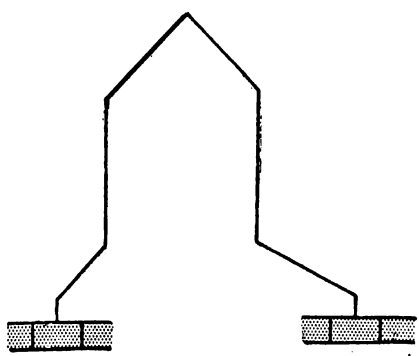


FIG. 287. — *Section ondulée. Balais entre la ligne des pôles.*

une lame d'intervalle. Nous avons déjà vu que, dans l'enroulement imbriqué simple, la section est reliée à deux lames consécutives. La mise en parallèle des deux enroulements simples se fait par les balais.

**Remarque sur les connexions des sections aux lames du collecteur.**

Suivant que les balais du collecteur se trouvent sur la ligne des pôles ou entre les lignes, les connexions des sections aux lames du collecteur se font différemment.

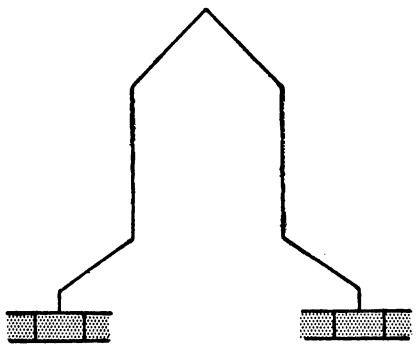


FIG. 288. — *Section ondulée. Balais sur la ligne des pôles.*

En effet, si la ligne de calage des balais se fait sur la ligne des pôles, la section passant devant les pôles devra être reliée aux lames du collecteur se trouvant sous les balais (voir la disposition des sections, fig. 285 à 288).

**Bobinage des induits de moteurs à courant continu.**

Le bobinage des petits induits se fait habituellement sur des machines automatiques ou semi-automatiques. Ces machines sont prévues pour fils isolés à l'émail, au coton ou à la soie. Elles se prêtent aussi bien à la fabrication en grande série qu'au bobinage individuel, et peuvent convenir pour les encoches droites ou obliques.

Pour confectionner les bobines à la main, on se sert d'un gabarit que l'on monte sur un tour. Ensuite on enlève la bobine et on lui donne sa forme définitive. Les précautions à prendre dans ce genre de travail sont exactement celles que nous avons décrites dans les enroulements inducteurs des machines à courant continu.

Il faut apporter le plus grand soin dans l'isolement des bobines. On emploie le plus souvent, soit du papier Japon, soit du ruban Jaconas.

Le court-circuit d'une spire induite est plus grave que le court-circuit d'une spire inductrice.

**Fausses sections.**

Il arrive quelquefois que le nombre de sections n'est pas divisible par le nombre d'encoches. De ce fait, une section ne pourra pas être reliée au collecteur, puisqu'il n'y aura

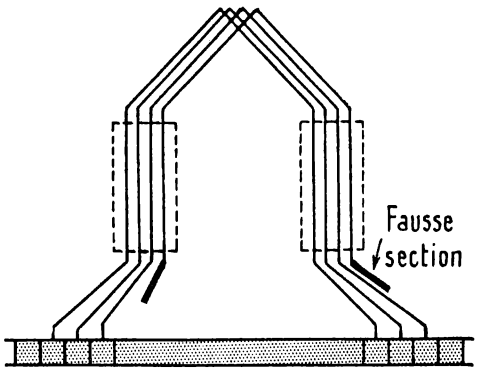



FIG. 289. — *Logement d'une fausse section dans une encoche.*

pas de place sur ce dernier. Cependant, cette section devra être mise en place pour équilibrer l'induit, mais ses extrémités devront être sectionnées et isolées. Elle n'interviendra pas dans le fonctionnement du moteur ; c'est pour cette raison qu'elle est appelée « fausse section » (fig. 289).

**Rebobinage des moteurs à courant continu.**

Lorsqu'un moteur doit être rebobiné, il faut prendre certaines caractéristiques de l'induit, afin de refaire exactement le même enroulement. Les indications à relever avant de commencer tout travail sont les suivantes :

Type du bobinage.
Diamètre du fil employé, nature, isolement.
Nombre de faisceaux par encoche.
Nombre de fils par faisceau.
Le pas $Y_1$ (côté opposé au collecteur).
Le pas $Y_2$ (côté collecteur).
Isolation des encoches.

Repérage des encoches et des lames, c'est-à-dire la position des lames du collecteur par rapport aux encoches contenant les sections reliées à ces lames.

Repérage de l'ordre du montage des sections : bobinage vers la droite ou bobinage vers la gauche.

Il est intéressant de connaître, si cela est possible, le poids du vieux fil constituant l'ancien bobinage.

Toutes ces indications étant prises, il faut débobiner, soit la section en défaut, soit l'induit entièrement, si tout le bobinage est hors d'usage. Nettoyer ensuite les encoches comme nous l'avons déjà signalé. Vérifier et réparer le collecteur si cela est nécessaire. Préparer les fentes sur les ailettes des lames du collecteur, avant de placer les bobines sur l'induit et lorsque ce dernier est à nu. Refaire les sections sur un gabarit.

Placer les sections sur l'induit et connecter les extrémités des différentes bobines aux lames du collecteur.

Les fils utilisés dans le rebobinage des petits moteurs sont en cuivre rond à deux guipages. Généralement, pour des conducteurs dont le diamètre est inférieur ou égal à 0,3 millimètre, le cuivre est émaillé et recouvert de deux couches de coton. Lorsque le fil est émaillé, il faut avoir bien soin de gratter l'isolant pour avoir de bonnes connexions soudées sur les lames du collecteur. Se méfier des fils simplement collés par la soudure (soudure sèche). C'est une source de dérangements intermittents, quelquefois difficiles à déceler.

## Bobinage en V.

Pour équilibrer l'induit au point de vue de la répartition des fils en dehors des encoches, on pratique très souvent le bobinage en V sur les moteurs bipolaires. Ce bobinage est ainsi appelé parce que le faisceau sortant d'une encoche se divise en deux parties, pour entrer dans deux encoches situées à gauche et à droite de la première, d'une valeur égale au pas. Ainsi, sur la figure 290 le faisceau logé dans l'encoche 1 se répartit dans les encoches 6 et 10. Le pas étant supposé égal à 6. Le développement panoramique (fig. 291) fait mieux comprendre ce mode d'enroulement à la main. Partant de (a) le fil passe dans l'encoche 1, ensuite dans l'encoche 6, revient à 1, puis à 6, jusqu'à ce que le nombre de spires du demi-faisceau soit suffisant. A ce moment, en sortant de l'encoche 1 on passe dans l'encoche (b). Ainsi l'encoche 1 contient un nombre de conducteurs double de celui des encoches 6 et 10.

A titre d'exemple, prenons un induit comportant 14 encoches et réalisons un bobinage complet en V. Pas de l'enroulement égal à 6 (fig. 292).

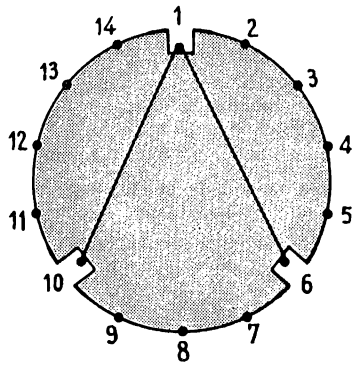



FIG. 290. — *Type de bobinage en V.*

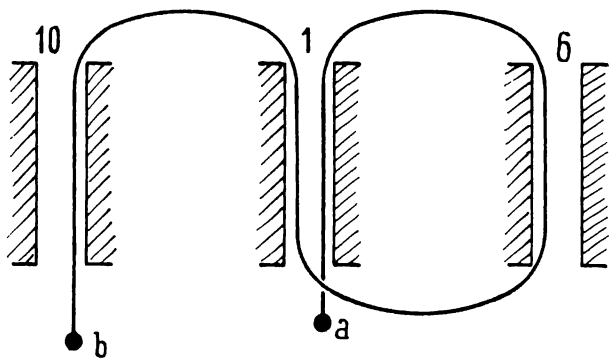



FIG. 291. — *Représentation panoramique d'un bobinage en V.*

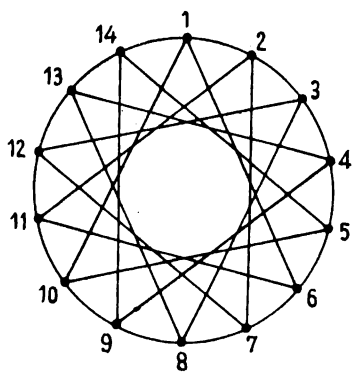



FIG. 292. — *Induit bobiné en V.*

Commençons par les encoches 1 et 6, ensuite 6 et 11, 11 et 2, 2 et 7, 7 et 12, 12 et 3, 3 et 8, 8 et 13, 13 et 4, 4 et 9, 9 et 14, 14 et 5, 5 et 10, 10 et retour à l'encoche 1.

**Bobinage à boucles.**

Ce type de bobinage à la main est ainsi appelé parce que, ayant terminé une section, le fil n'est pas coupé, mais forme une boucle avant d'enrouler la section suivante. Par exemple (fig. 293-294), les encoches 1 et 6 ayant le nombre

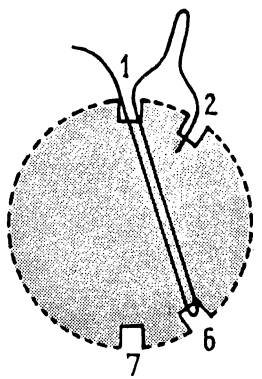



FIG. 293. — *Principe du bobinage à boucles.*

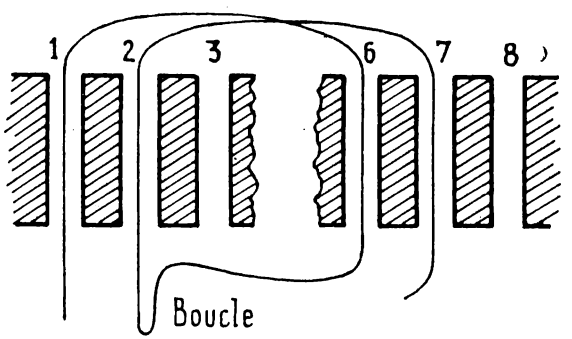



FIG. 294 . — *Vue panoramique d'un bobinage à boucles.*

de conducteurs voulu, on forme une boucle avant de placer les conducteurs dans les encoches 2 et 7. Cette façon de procéder rend très rapide le bobinage. Ce dernier terminé, il ne reste plus qu'à dénuder les boucles et les souder dans les rainures des lames correspondantes.

**Vérification des induits pendant le rebobinage.**

Pendant le rebobinage des induits, il est recommandé de procéder à une certain nombre d'essais. Cette manière d'opérer permet de constater un défaut presque au moment où il vient de se produire. On évite ainsi des démontages toujours coûteux, lorsque le bobinage de l'induit est terminé.

Les défauts que l'on peut éliminer pendant le rebobinage sont : les masses, l'inversion des connexions des bobines, la rupture du circuit ou un court-circuit. Les vérifications doivent se faire entre spires d'une même bobine, entre bobines supérieures et inférieures, entre lames du collecteur, entre têtes de bobines et entre connexions de bobines.

Toutes ces recherches sont décrites dans le chapitre relatif aux essais des moteurs. Cependant, nous donnons au passage quelques indications sur l'ordre des opérations à effectuer.

En premier lieu, lorsque l'induit est dépouillé de l'ancien bobinage, vérifier s'il n'y a pas de masse ou de court-circuit dans le collecteur. Pendant le rebobinage, vérifier les masses et courts-circuits en se servant d'un grognard. Le bobinage terminé, il faut, avant même de souder les connexions sur les lames du collecteur, refaire des essais entre lames, pour s'assurer qu'il n'y a pas de court-circuit ou de masse.

Après soudure des connexions du collecteur, faire une dernière vérification.

**Isolation de l'induit.**

L'induit étant débarrassé de l'ancien bobinage, et les encoches sans aspérités, on isole les tôles extérieures en plaçant deux joues de fibre de deux millimètres de diamètre environ, épousant également la forme des encoches, afin de protéger les faisceaux sortant de ces dernières.

L'isolation des encoches se fait par une bande de presspahn ou de leathéroïd. Cette bande déborde dans la partie supérieure de l'encoche de façon à pouvoir la replier à l'intérieur, lorsque les sections seront mises en place (fig. 295). Elle dépasse également la longueur de l'encoche de quelques millimètres de façon à renforcer l'isolement sur le côté de l'induit.

Lorsque l'encoche contient plusieurs sections (généralement deux), il faut les isoler entre elles par une feuille de presspahn ou de fibre. Voir à ce sujet le rebobinage des moteurs asynchrones.

Entre l'assemblage des tôles de l'induit montées sur l'arbre et le collecteur, il existe un vide qu'il faut combler en enroulant une bande de Jaconas. C'est sur cette partie que viendront reposer les têtes de sections ou chignons.

Lorsque le pas de l'enroulement est presque diamétral, les faisceaux côté postérieur au collecteur sont très rapprochés de l'arbre ; il importe, dans ce cas, d'isoler une partie de ce dernier. Les têtes de sections sont enrubannées au Jaconas, ainsi que les fils d'entrée et de sortie reliés au collecteur.

Après finition du bobinage sur l'induit, il faut imprégner entièrement l'induit dans un vernis spécial qui a un double but : former un bloc de l'ensemble des fils de façon à résister à l'humidité et à l'échauffement, ensuite empêcher tout déplacement des sections par suite de la force centrifuge, surtout dans les moteurs tournant à grande vitesse.

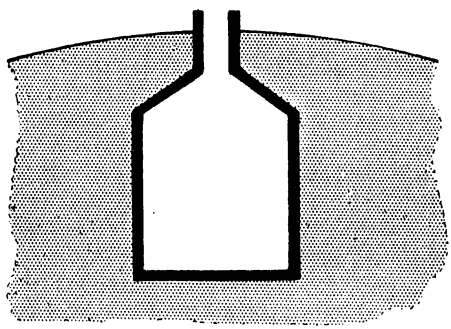


FIG. 295. — *Isolation d'une encoche.*

Dans les ateliers de petite réparation, cette imprégnation se fait au pinceau à l'aide d'un vernis gras. Il faut passer une première couche, et laisser sécher avant de passer une deuxième couche, et même une troisième couche si l'imprégnation n'est pas suffisante.

Dans les ateliers de grande réparation, on emploie l'imprégnation à la bakélite. Cette bakélisation se fait sous pression dans un autoclave. Les induits bakélisés résistent à l'humidité, aux vapeurs d'huile et d'eau, qui sont sans action sur l'isolant.

**Mise en place des sections.**

Les sections terminées, il faut les mettre en place dans les encoches. Ces dernières sont généralement du type demi-fermé. Il faut donc procéder par quelques fils à la fois. Un faisceau étant engagé, on le tasse au fond de l'encoche, de façon à pouvoir introduire par la suite le deuxième faisceau d'une autre section. On place une feuille de fibre pour isoler les deux faisceaux de la même encoche. On passe ensuite à l'encoche suivante en répétant la même

opération. Lorsque le pas de l'enroulement le permet, on met en place le deuxième faisceau de la première section. En effet, il était impossible de le placer avant, puisqu'il occupe la partie supérieure d'une encoche dont la partie inférieure est garnie par un faisceau bien déterminé. C'est justement la mise en place de ce dernier qui permet d'en finir avec la première section.

Par exemple, dans la figure 296, le pas $Y_1$ étant supposé égal à 5, la section ayant son faisceau dans le bas de l'en-

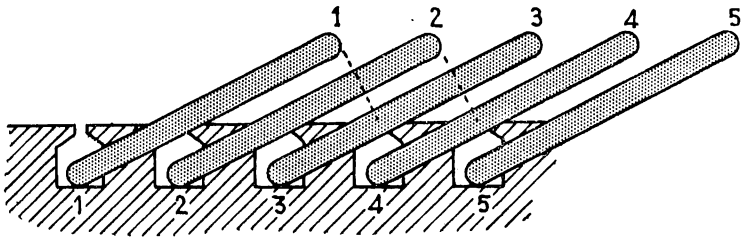



FIG. 296. — *Mise en place des sections dans les encoches.*

coche 1, ne pourra être introduite définitivement que lorsque l'encoche 4 aura sa partie inférieure prise par le faisceau de la section 4.

**Frettage de l'induit.**

Le frettage est l'opération qui consiste à entourer l'induit de plusieurs spires jointives de fil métallique, d'acier de préférence, de façon à bien maintenir les sections mises en place. Le passage des spires se fait dans des petites encoches circulaires prévues à cet effet dans l'assemblage des tôles. Elles sont effectuées au tour, évidemment, avant la mise en place du bobinage. Une bande isolante est interposée entre l'induit et les fils de frette, afin de ne pas abîmer les bobines. Les spires de fil métallique sont soudées entre elles à l'étain, en ayant bien soin de ne pas former des paquets de soudure qui pourraient gêner l'induit dans sa rotation — l'entrefer étant toujours faible, comme nous l'avons déjà indiqué. Le frettage se réalise en montant l'induit entre pointes sur un tour, la bobine de fil du frettage se trouvant sur un dévidoir. L'enroulement du fil doit se faire très lentement. La vitesse du tour sera donc établie en conséquence.

Dans les petits moteurs, on peut utiliser la ficelle à fouet comme fil de frettage.

## II. — MOTEURS A COURANTS ALTERNATIFS

### Moteur asynchrone.

Nous connaissons le principe de ce moteur qui consiste à créer un champ tournant au moyen de courants alternatifs envoyés dans les inducteurs fixes ou stator. L'induit mobile ou rotor à cage d'écureuil (dans les moteurs de faible puissance, 1 cheval au maximum), ou bobiné est le siège de courants induits qui produisent un couple de démarrage.

### Création pratique des champs tournants.

Dans les généralités sur les moteurs asynchrones, nous avons montré l'existence d'un champ tournant, il est temps maintenant de voir comment on le réalise pratiquement. Considérons un inducteur à 4 pôles saillants parcouru par des courants diphasés (fig. 297).

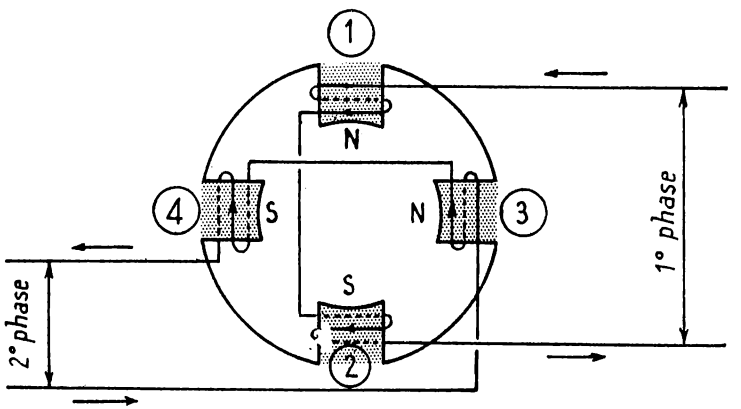



FIG. 297. — *Création d'un champ tournant, au moyen d'un inducteur à quatre pôles saillants, parcouru par des courants diphasés.*

Si les enroulements des pôles sont effectués comme indiqué sur la figure, la première phase donnera un pôle nord et un pôle sud, à condition que le sens de parcours du courant soit celui de la flèche.

En effet, dans la bobine 1, le courant tourne dans le sens de l'avance d'un tire-bouchon, le pôle nord apparaît donc côté intérieur (côté induit).

Dans une bobine parcourue par un courant, les lignes de force sont dirigées suivant l'axe de cette bobine. Le sens d'avance du tire-bouchon indique que les lignes de force sortent de la bobine. Or, elles sortent par un pôle nord de la même façon que dans un générateur, le courant sort par le pôle + et entre par le pôle —.

Pour la bobine 2, le courant a le sens du recul d'un tire-bouchon, le pôle sud apparaît donc côté intérieur.

Remarquons tout de suite que ce système inducteur est en réalité bipolaire (2 pôles) et non tétrapolaire comme on pourrait le penser. En se reportant à la figure 298 représentant le diagramme des courants, on s'aperçoit que lorsque le courant de la première phase est à son maximum, le

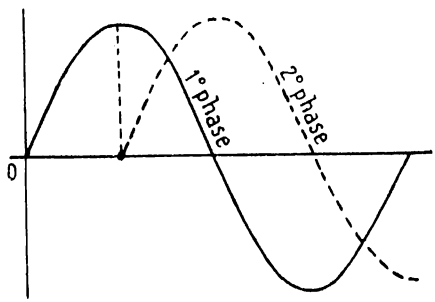



FIG. 298. — *Diagramme des courants diphasés.*

courant de la deuxième phase est nul. Les bobines 3 et 4 ne sont parcourues par aucun courant. Les pôles 3 et 4 ne rentrent pas encore en fonction et le stator est bipolaire bien qu'ayant quatre pôles.

Examinons la suite du phénomène.

Le courant de la première phase disparaît, c'est-à-dire s'annule, le courant de la deuxième revient maximum et de sens indiqué sur la figure. Les bobines 1 et 2 sont inactives et les bobines 3 et 4 actives. Le pôle nord de 1 s'est déplacé en 3. Ensuite, le courant s'annule dans la deuxième phase et apparaît dans la première phase, mais de sens contraire que précédemment. Les pôles 1 et 2 sont inversés, c'est-à-dire que le pôle nord se trouve à présent en 2 et le pôle sud en 1. Les pôles 3 et 4 sont inactifs. Enfin, le courant de la première phase s'annule, et le courant de la deuxième phase apparaît avec un sens contraire au précédent, pôle nord en 4, pôle sud en 3.

Il y a donc création d'un champ tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, puisque le pôle nord par exemple occupe successivement les bobines 1, 3, 2, 4.

Avec des courants diphasés, il est également possible de constituer un inducteur à quatre pôles actifs (tétrapolaire), mais il faudra évidemment huit bobines (fig. 299).

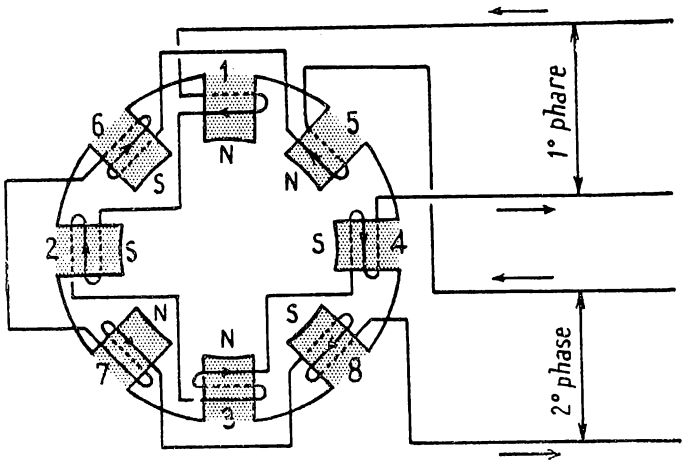



FIG. 299. — *Création d'un champ tournant par courants diphasé, sur un stator tétrapolaire.*

Voici résumée la rotation des pôles pour la création du champ tournant par courants diphasés.

1. STATOR BIPOLAIRE :

| Phase | Pôle nord | Pôle sud |
|---|---|---|
| Phase I | Bobine 1 | Bobine 2 |
| Phase II | Bobine 3 | Bobine 4 |
| Phase I (sens inverse) | Bobine 2 | Bobine 1 |
| Phase II (sens inverse) | Bobine 4 | Bobine 3 |

2. STATOR TÉTRAPOLAIRE :

| Phase | Pôle nord | Pôle sud |
|---|---|---|
| Phase I | Bobines 1 et 3 | Bobines 2 et 4 |
| Phase II | Bobines 5 et 7 | Bobines 6 et 8 |
| Phase I (sens inverse) | Bobines 2 et 4 | Bobines 1 et 3 |
| Phase II (sens inverse) | Bobines 6 et 8 | Bobines 5 et 7 |

Pratiquement, pour avoir un champ tournant plus important et plus régulier, on n'utilise pas des pôles saillants,

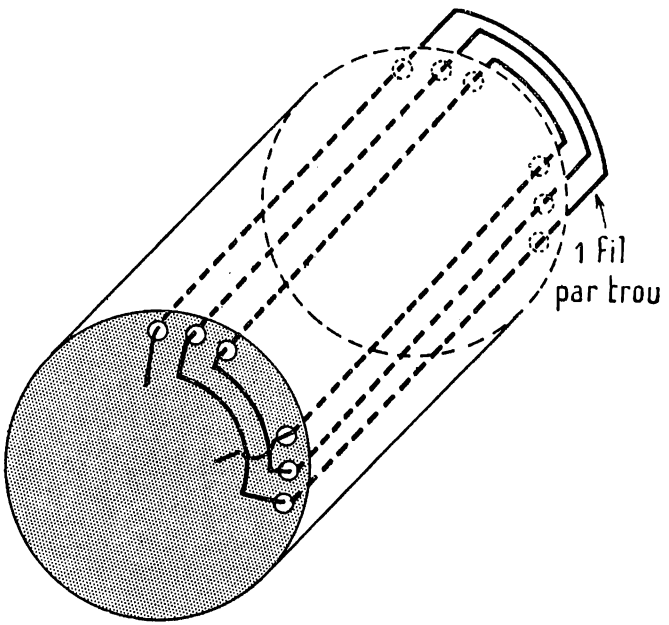



FIG. 300. — *Enroulement d'une bobine sur un stator ou un rotor à trou* (1 *fil par trou*).

mais des trous répartis sur la surface latérale du stator. Les fils appartenant à une même bobine constituant un pôle du stator sont introduits dans un certain nombre de trous par un procédé que nous détaillerons plus loin (fig. 300-301-302).

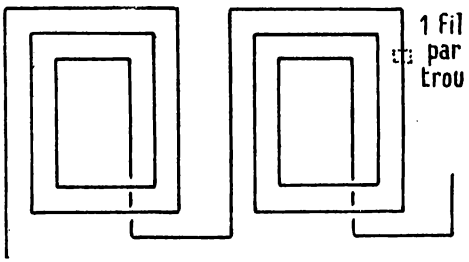



FIG. 301. — *Mise en série de deux bobines d'une même phase sur un stator tétrapolaire à courant triphasé. Cette liaison ne conviendrait pas dans le cas d'un stator à courant diphasé, les bobines ayant même polarité.*

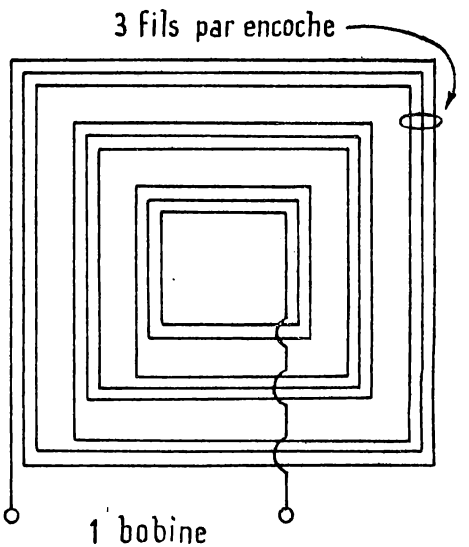



FIG. 302. — *Représentation d'une bobine de stator.*
*Il y a 3 conducteurs par trou. La bobine occupe 6 trous.*

**Enroulements pratiques.**

Nous en arrivons aux montages usuels des bobines sur les stators. Considérons un stator à 48 trous alimenté par des courants diphasés. Si nous désirons avoir 4 pôles actifs, nous devrons disposer 8 bobines sur la périphérie. Ces bobines vont chevaucher de la façon que nous indiquons sur les figures 303-304-305. Nous avons séparé sur deux figures distinctes, le branchement des bobines relatives à chacune des deux phases.

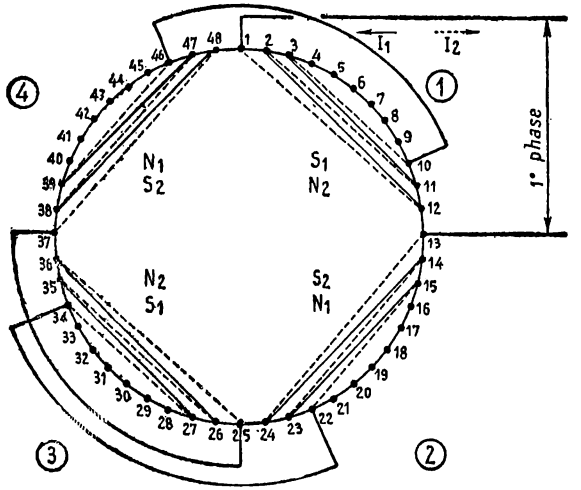



FIG. 303. — *Disposition des enroulements dans les bobines* 1, 2, 3 *et* 4, *pour la première phase. — Les pôles* $N_1$, $S_1$, *correspondent au sens du courant de la flèche en trait continu. Les pôles* $N_1$, $S_2$, *sont relatifs au sens du courant de la flèche en trait pointillé. Inverser les polarités si l'on considère le côté intérieur du stator.*

Prenons la phase 1 par exemple. La première bobine occupe les encoches 1, 2, 3 et 10, 11, 12. La bobine 2, les encoches 13, 14, 15 et 22, 23, 24. La bobine 3, les encoches 25, 26, 27 et 34, 35, 36. La bobine 4, les encoches 37, 38, 39 et 46, 47, 48. Le courant dans la première phase ayant le sens indiqué sur la figure, les bobines 1, 2, 3, 4, relatives à cette phase, auront les polarités sud, nord, sud, nord (à l'extérieur).

Les bobines 5, 6, 7, 8 relatives à la deuxième phase, occuperont les encoches laissées disponibles, c'est-à-dire :

Bobine 5, encoches : 7 8 9 et 16 17 18
Bobine 6, encoches : 19 20 21 et 28 29 30
Bobine 7, encoches : 31 32 33 et 40 41 42
Bobine 8, encoches : 43 44 45 et 4 5 6

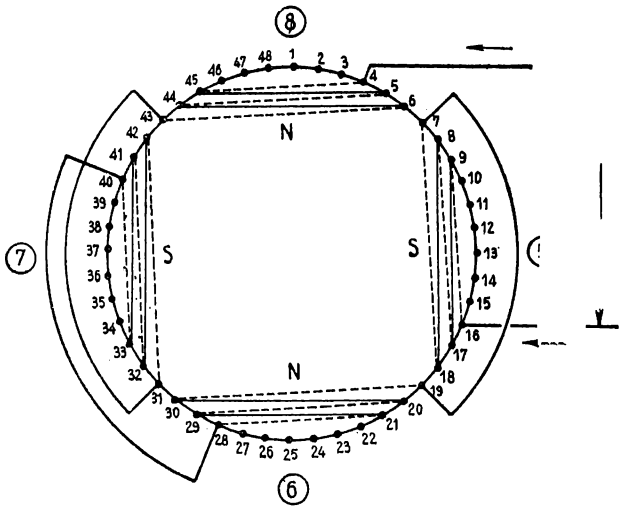



FIG. 304. — *Disposition des enroulements dans les bobines 5, 6, 7 et 8 pour la deuxième phase. Les pôles N et S correspondent au courant ayant pour sens celui de la flèche.*

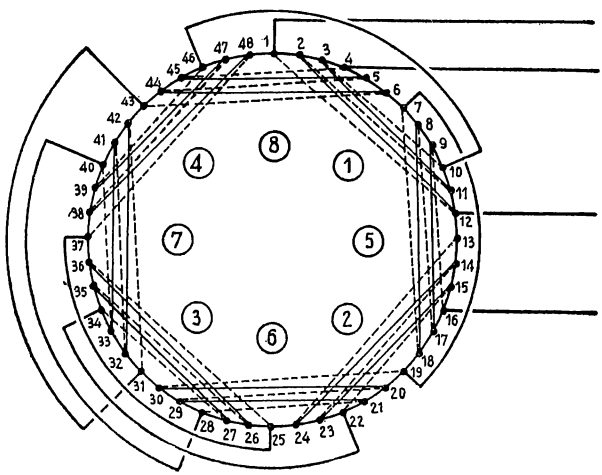



FIG. 305. — *Ensemble des deux figures précédentes. — Les bobines 1, 2, 3 et 4 sont relatives à l'une des phases. Les bobines 5, 6, 7 et 8 à l'autre phase.*

Comme dans le cas théorique des pôles saillants, nous pouvons également nous rendre compte de la création du champ tournant en examinant la rotation des pôles nord par exemple, suivant le sens du courant dans les deux phases. Voir à ce sujet ce qui a été dit précédemment.

Chaque encoche contient évidemment plusieurs conducteurs. Prenons la bobine 1 de la phase 1, elle est enroulée de la façon suivante. Le fil arrive en avant de l'encoche 1, passe par la face postérieure du stator (trait pointillé), s'engage dans l'encoche 12, sort en avant du stator, revient à l'encoche 1 et ainsi de suite. Lorsque les encoches 1 et 12 sont complètement garnies, la sortie de 12 passe par l'avant (trait continu) à l'encoche 2, et de là à l'encoche 11 et ainsi de suite, jusqu'à épuisement des 6 encoches constituant la bobine 1 de la phase 1.

Cette façon de représenter les bobines permet, à la simple lecture du dessin, de se rendre compte du sens du courant dans la bobine considérée, et, de ce fait, de voir l'alternance des pôles pour le branchement des bobines.

Vérifions les polarités relatives à la première phase.

Le courant $I_1$, sens de la flèche en trait continu, arrive par l'encoche 1 (en avant de la figure), passe par la partie postérieure du stator, pour revenir à l'encoche 12. Un tire-bouchon placé à l'extérieur du stator et face à la bobine 1, tournera dans le sens des aiguilles d'une montre, sens du courant dans la bobine. Il apparaîtra donc un pôle Sud $S_1$, côté extérieur du stator. En faisant la même opération sur les bobines 2, 3 et 4, pour le même sens du courant $I_1$, nous trouverons les polarités d'indice 1, indiquées sur la figure 303. Lorsque le courant de la première phase a le sens $I_2$ (flèche en pointillé), les pôles sont inversés et les polarités d'indice 2 ($N_2$ $S_2$), sont celles indiquées sur cette même figure.

Nous remarquons qu'il y a bien rotation du champ puisque le pôle nord par exemple, occupe successivement les bobines 1, 2, 3 et 4, suivant le sens du courant de la première phase.

Sur la figure 304 nous avons indiqué les polarités relatives au courant ayant pour sens celui de la flèche (deuxième phase).

La figure 306 représente une disposition simplifiée des différentes bobines sur la périphérie du stator, avec les liaisons en série des bobines appartenant à une même phase.

Nous avons supposé jusqu'à présent que les bobines d'une même phase étaient reliées en série, c'était le cas de moteurs asynchrones diphasés fonctionnant sur 220 volts (fig. 307). Pour un réseau 127 volts, il suffira de coupler les bobines en parallèle de façon à constituer deux voies d'enroulement pour chaque phase.

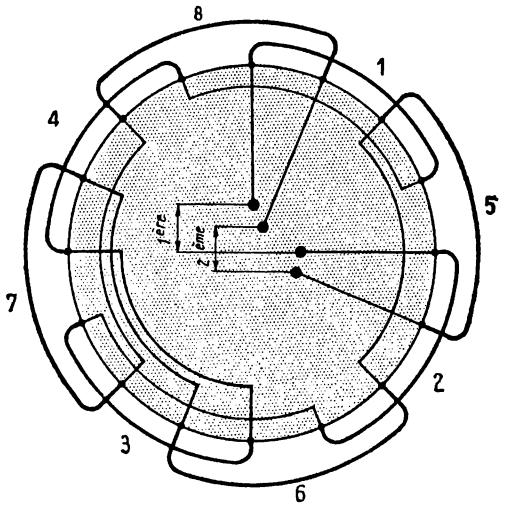



FIG. 306. — *Disposition des bobines en série.*
*Phase* 1 : *bobines* 1-4-3-2 ; *phase* 2 : *bobines* 5-6-7-8.

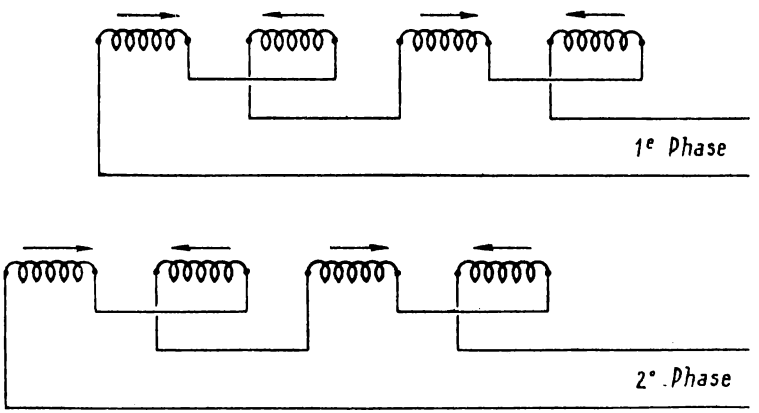



FIG. 307. — *Bobines en série. Cas général des moteurs asynchrones diphasés fonctionnant sur 220 volts.*

Se reporter à ce sujet au schéma théorique de branchement (fig. 338).

Les figures 308-309 donnent une autre représentation de la liaison entre bobines. Le stator est supposé développé suivant une génératrice.

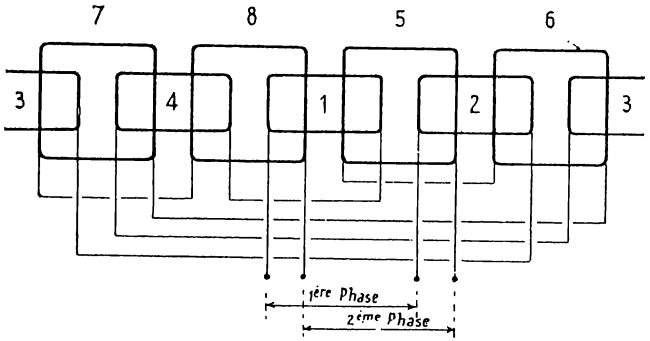



FIG. 308. — *Stator tétrapolaire série. Courants diphasés. — Phase 1 : bobines 1-4-3-2 ; phase 2 : bobines 5-6-7-8.*

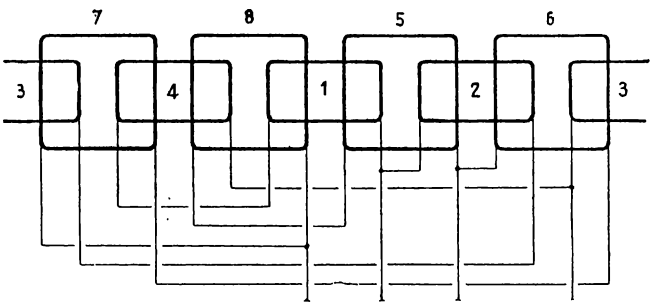



FIG. 309. — *Stator tétrapolaire parallèle. Courants diphasés.*

PHASE 1 :

*1 et 4 en série ; 2 et 3 en série. Le groupe de bobines 1 et 4 est en parallèle sur le groupe de bobines 2 et 3*

PHASE 2 :

*5 et 8 en série ; 6 et 7 en série. Le groupe 5-8 est en parallèle sur le groupe 6-7.*

Le branchement série ou parallèle peut d'ailleurs s'effectuer rapidement au moyen de barrettes métalliques sur la plaque à bornes du moteur diphasé, suivant la tension d'alimentation du réseau (fig. 310-311).

Remarque.

Il est intéressant de signaler que tout ce que nous venons d'exposer sur les stators diphasés, s'applique également aux stators monophasés. En effet, il ne faut pas oublier qu'un moteur monophasé a besoin d'un enroulement auxiliaire pour le démarrage. Le stator comportera donc toujours deux enroulements. Cependant, les bobines auxiliaires auront moins de spires que les bobines normales. Dans le cas des moteurs diphasés, les deux enroulements sont identiques.

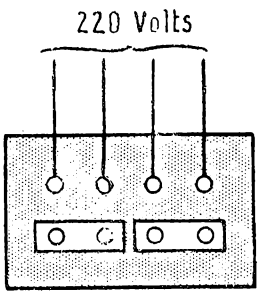



Fig. 310. — *Moteur à courants diphasés. Branchement série pour réseau 220 volts.*

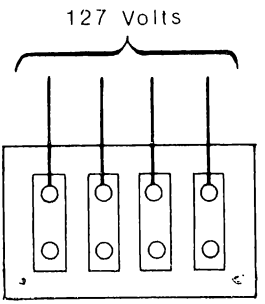



Fig. 311. — *Moteur à courants diphasés. Branchement parallèle pour réseau 127 volts.*

**Enroulements des moteurs triphasés.**

On peut créer également un champ tournant avec des courants triphasés. Il suffit de disposer d'un stator à six pôles saillants et placer sur ces derniers des bobines, comme nous l'avons fait, dans le cas des courants diphasés. Le stator ainsi constitué sera bipolaire (deux pôles par phase).

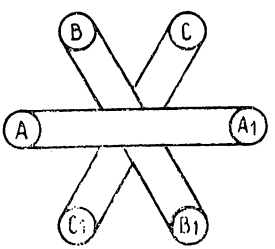



Fig. 312. — *Ensemble de 3 bobines pour la création d'un champ tournant avec des courants triphasés.*

On peut aussi considérer trois bobines (fig. 312) décalées entre elles d'un tiers de circonférence (120 degrés), elles

seront parcourues par des courants décalés d'un tiers de période.

Comme le montre le diagramme des courants triphasés (fig. 313), le courant de la courbe 2 est en retard sur le courant 1 et en avance sur le courant 3, d'un tiers de période. Lorsque le courant sera maximum dans la bobine $AA_1$, il se produira un pôle nord et un pôle sud de part et d'autre de la bobine. Les enroulements de $BB_1$ et de $CC_1$ sont tels, que ces deux bobines créeront également de faibles pôles (le courant n'y est pas encore maximum) venant renforcer ceux de $AA_1$. Ensuite, l'action de $CC_1$ augmente ; alors que le magnétisme $AA_1$ et $BB_1$ diminue, les pôles sont dirigés de part et d'autre de $CC_1$ et ainsi de suite. On voit que le champ tourne à la vitesse de un tour par période.

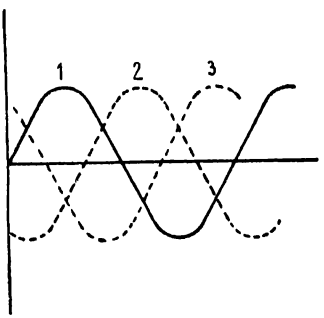



FIG. 313. — *Diagramme de courants triphasés.*

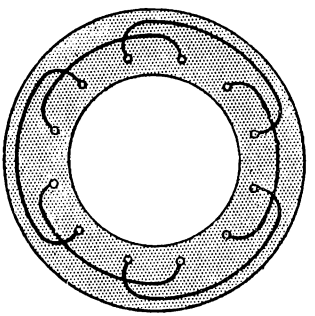


FIG. 314. — *Stator tétrapolaire d'un moteur à courants triphasés. Répartition des bobines sur la périphérie du stator.*

Nous avons remarqué que, seule, une bobine était entièrement active. Il y avait donc deux pôles en même temps et le stator était bipolaire. Dans la pratique, c'est surtout les moteurs asynchrones triphasés à quatre pôles qui sont employés. Nous savons, en effet, que la vitesse d'un moteur diminue lorsqu'on augmente le nombre de ses pôles. Examinons ce genre de stator. Il est constitué par six bobines réparties sur la surface interne comme le représente schématiquement la figure 314. Comme dans les moteurs diphasés et pour avoir un champ magnétique tournant plus régulier, les bobines occupent plusieurs encoches de façon que chaque conducteur participe à la création du champ tournant. Voici par exemple (fig. 315-316) un stator de moteur triphasé à 4 pôles et 3 encoches par pôle et par phase. Il comporte 6 bobines décalées de 60°, soit deux bobines par phase. Les deux bobines appartenant à la même phase sont en regard (1 et 5) et sont connectées entre elles de telle manière qu'elles produisent deux pôles de même

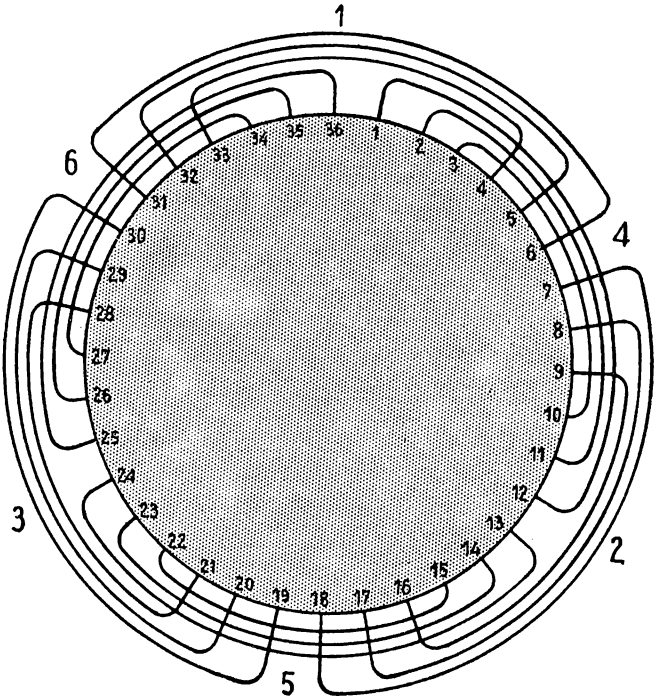



FIG. 315. — *Stator triphasé tétrapolaire 2 bobines par phase.*

PHASE 1 :

*Bobine* 1 *contenue dans les encoches* 4-5-6 *et* 31-32-33 ;
*bobines* 5, *encoches* 13-14-15 *et* 22-23-24.

PHASE 2 :

*Bobine* 4, *encoches* 1-2-3 *et* 10-11-12 ;
*bobine* 3, *encoches* 19-20-21 *et* 28-29-30.

PHASE 3 :

*Bobine* 2, *encoches* 7-8-9 *et* 16-17-18 ;
*bobine* 6, *encoches* 25-26-27 *et* 34-35-36.

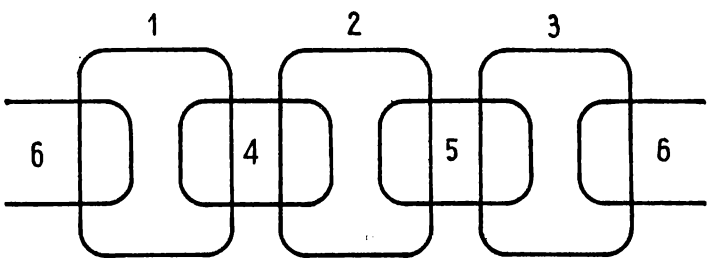



FIG. 316. — *Stator triphasé tétrapolaire, 2 bobines par phase.*

nom, dans les intervalles qu'elles embrassent et deux pôles opposés aux précédents, dans l'espace laissé libre. Autrement dit : on considère comme pôle l'intervalle compris entre deux groupes de conducteurs successifs de la même phase, parcourus au même instant par un courant de sens inverse (fig. 317).

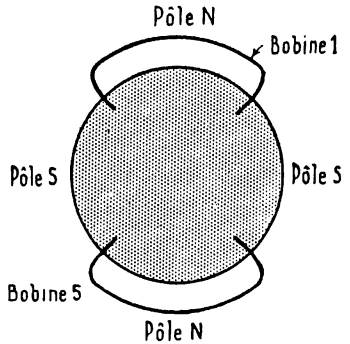



FIG. 317. — *Apparition des pôles sur un stator tétrapolaire. Les bobines* 1 *et* 5 *forment les pôles nord par exemple, les pôles sud étant compris en dehors de ces bobines.*

Par exemple, si les deux bobines 1 et 5 produisent des pôles nord, les pôles sud sont placés dans les deux espaces libres.

Dans les courants triphasés, nous avons déjà indiqué que les enroulements peuvent être couplés soit en étoile, soit en triangle.

Dans chacun de ces couplages, les bobines appartenant à une même phase peuvent être reliées soit en série, soit en parallèle. On obtient ainsi quatre combinaisons possibles :

1° Montage étoile série ;
2° — étoile parallèle ;
3° — triangle série ;
4° — triangle parallèle.

Il existe des combinateurs qui permettent de réaliser successivement ces quatre combinaisons sur un moteur en court-circuit, d'où facilité de démarrage et possibilité de faire varier la puissance.

Dans les schémas 318 à 328, nous détaillons les différentes connexions à établir entre bobines pour réaliser chacun des quatre montages, pour un moteur triphasé asynchrone à quatre pôles.

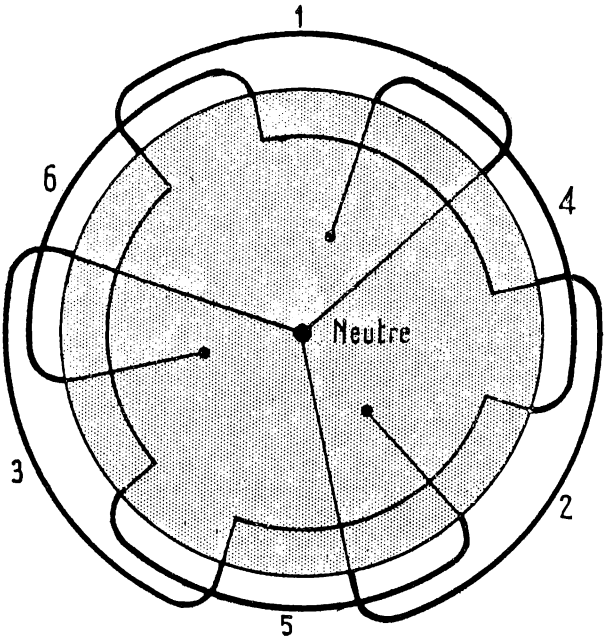



FIG. 318. — *Montage étoile série. Stator tétrapolaire d'un moteur asynchrone triphasé. La partie en grisaille de la figure représente un espace vide pour l'emplacement du rotor. Le stator est constitué par une couronne, faisant souvent corps avec le bâti du moteur.*

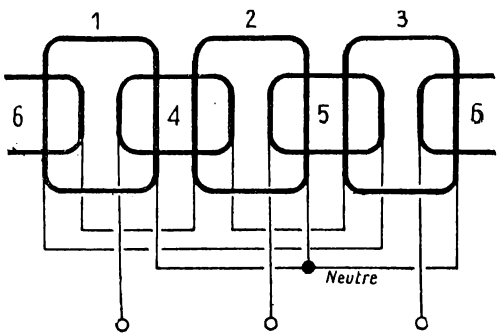



FIG. 319. — *Montage étoile série. Schéma des connexions entre bobines.*

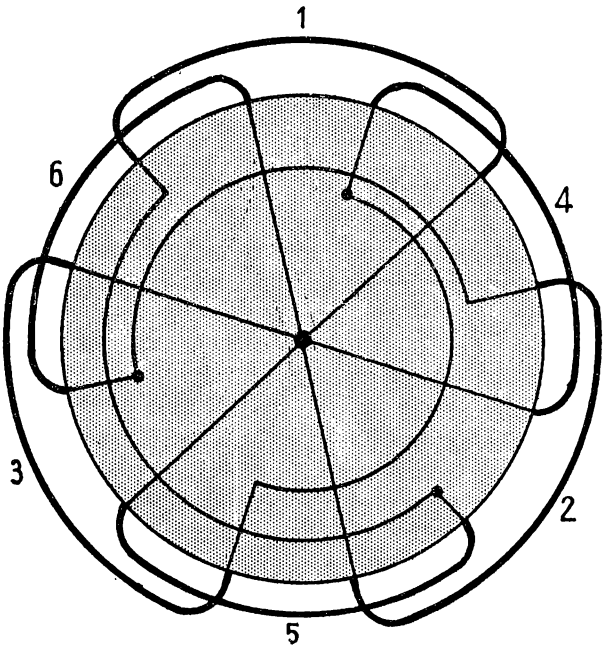



FIG. 320. — *Montage étoile parallèle.*

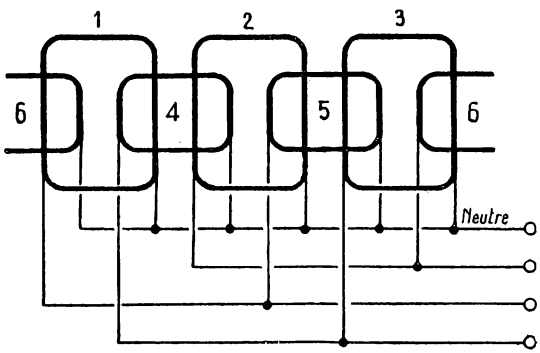



FIG. 321. — *Montage étoile parallèle. Schéma des connexions entre bobines.*

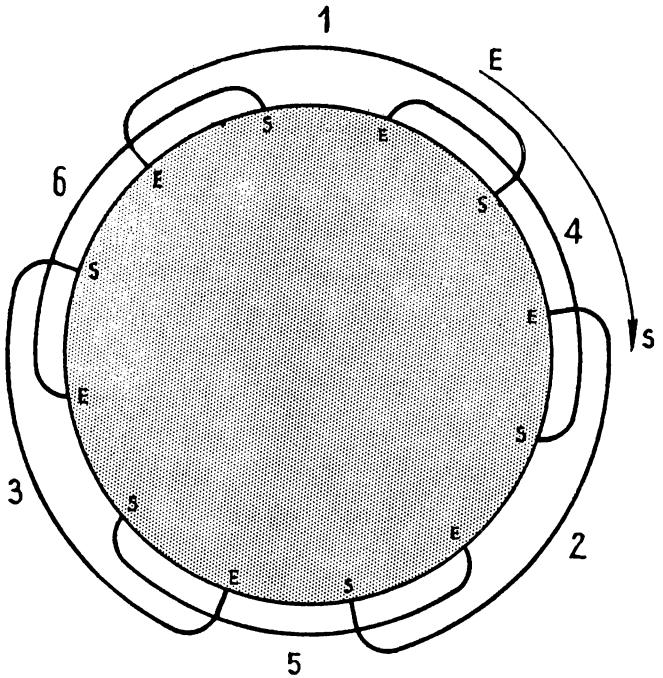



FIG. 322. — *Montage triangle série. Les connexions entre bobines ne sont pas représentées sur cette figure. La flèche permet de considérer de quel côté de la bobine se trouve son entrée ou sa sortie : E = entrée ; S = sortie.*

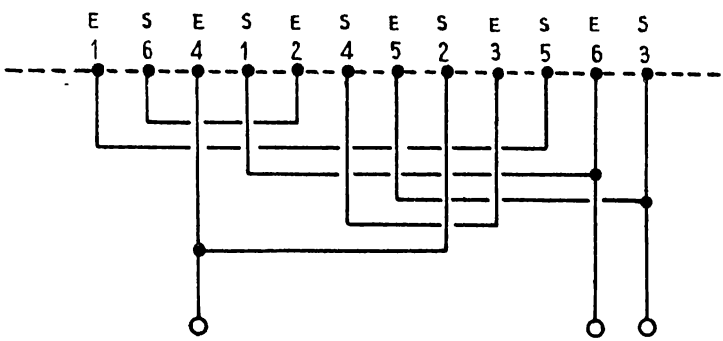



FIG. 323. — *Montage triangle série. Schéma des connexions entre bobines. Sur cette figure nous n'avons pas indiqué les bobines, mais simplement les entrées et les sorties. Exemple : E1 indique l'entrée de la bobine 1 ; S6, la sortie de la bobine 6.*

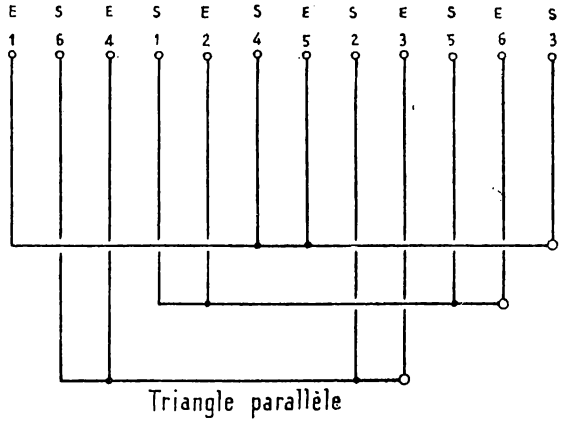



FIG. 324. — *Montage triangle parallèle. Schéma des connexions entre bobines. La disposition de ces dernières sur la périphérie du stator étant la même dans les quatre montages, nous n'avons pas représenté la vue frontale.*

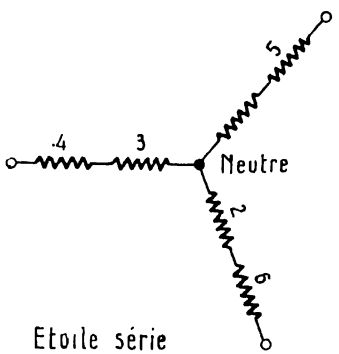



FIG. 325. — *Montage étoile-série des bobines constituant le stator tétrapolaire d'un moteur asynchrone triphasé. — Exemple : les bobines 4 et 3 sont reliées en série. L'entrée de la bobine 4 est connectée sur la plaque à bornes, elle recevra l'une des phases du secteur, les sorties des bobines 3-1 et 2 ont un point commun, qui est le neutre.*

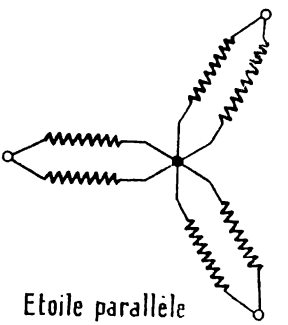



FIG. 326. — *Montage étoile parallèle.*

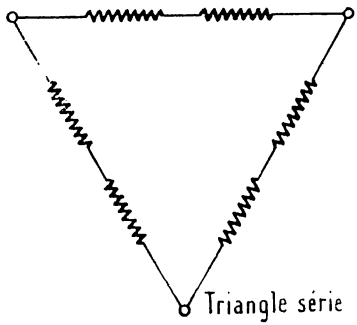



FIG. 327. — *Montage triangle-série.*

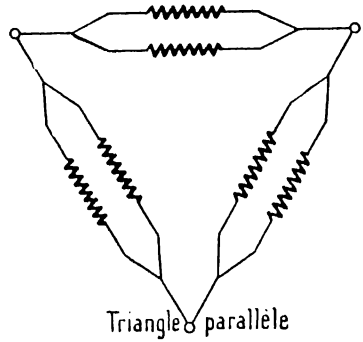



FIG. 328. — *Montage triangle-parallèle.*

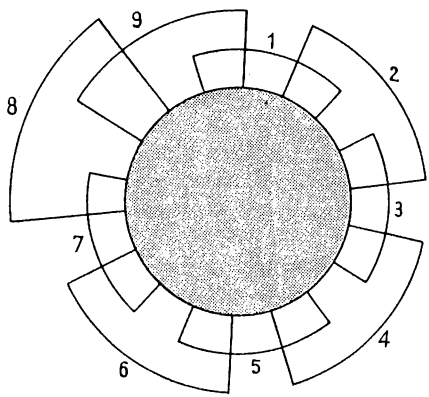



FIG. 329. — *Moteur asynchrone triphasé à six pôles, 3 bobines par phase. — Bobines* 2-5-8 *pour la première phase ; bobines* 3-6-9 *pour la deuxième phase ; bobines* 4-7-1 *pour la troisième phase.*

**Stator triphasé à six pôles.**

Dans les stators à six pôles, il y a trois bobines par phase. Ces bobines sont réparties sur la périphérie interne du stator comme indiqué schématiquement sur la figure (fig. 329). Les différents montages que l'on peut réaliser sont également au nombre de quatre, comme dans le cas des stators tétrapolaires. Les principes de ces montages sont donnés dans les figures 330 à 333.

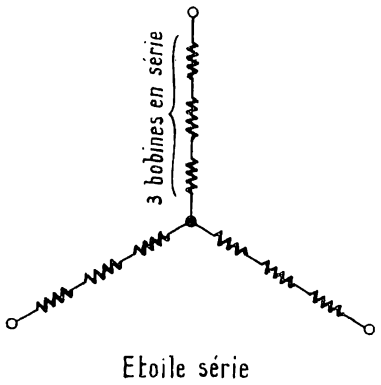



FIG. 330. — *Montage étoile série des enroulements d'un stator triphasé à 6 pôles, 3 bobines par phase.*

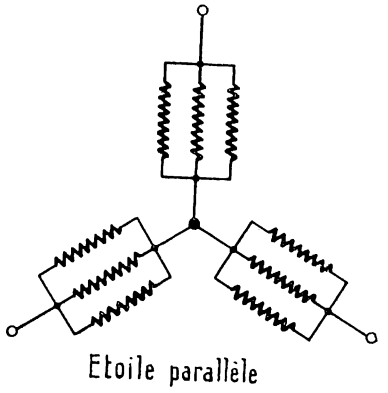



FIG. 331. — *Moteur asynchrone triphasé à 6 pôles, 3 bobines par phase. Montage étoile-parallèle.*

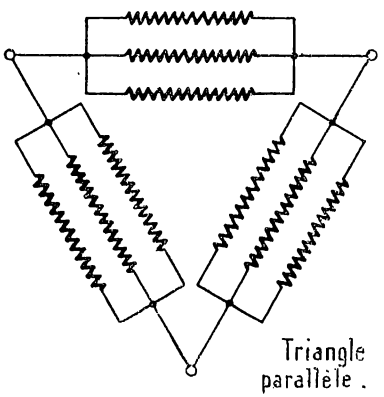



FIG. 332. — *Moteur asynchrone triphasé à 6 pôles, 3 bobines par phase. Montage triangle-parallèle.*

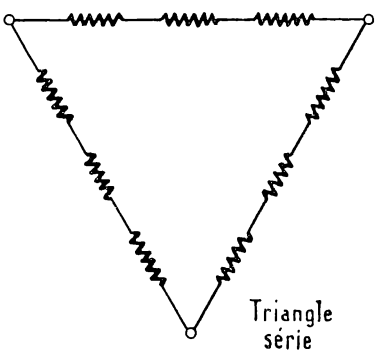



FIG. 333. — *Moteur asynchrone triphasé à 6 pôles, 3 bobines par phase. Montage triangle-série.*

## Connexions à établir entre bobines des stators des moteurs asynchrones

### *I. — COURANT DIPHASE*

**Stator bipolaire.**

Quatre bobines réparties sur la circonférence du stator, c'est-à-dire deux bobines par phase (une bobine par pôle) (fig. 334).

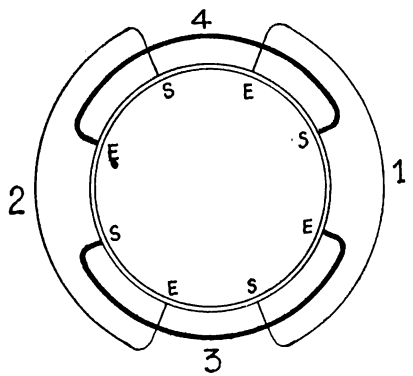



FIG. 334. — *Disposition des bobines sur un stator bipolaire d'un moteur asynchrone à courant diphasé. Les bobines sont numérotées de* 1 *à* 4 *:* 1 *et* 2 *pour la première phase ;* 3 *et* 4 *pour la deuxième phase.*
*E = entrée d'une bobine ;*
*S = sortie d'une bobine.*

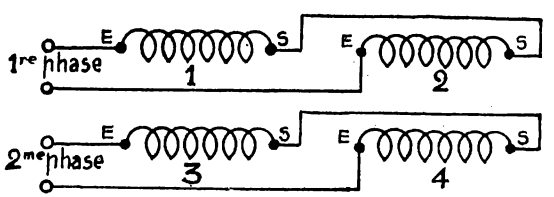



FIG. 235. — *Stator bipolaire d'un moteur asynchrone à courant diphasé. Montage série.*

*a*) Cas des bobines en série : La plaque à bornes est constituée par les quatre entrées des quatre bobines. Les deux bobines d'une même phase ont leur sortie reliées entre elles (fig. 335).

*b*) Cas des bobines en parallèle : Dans chaque phase, la sortie de l'une des deux bobines est reliée à l'entrée de l'autre. Ce point de raccordement constitue une borne du moteur (fig. 336).

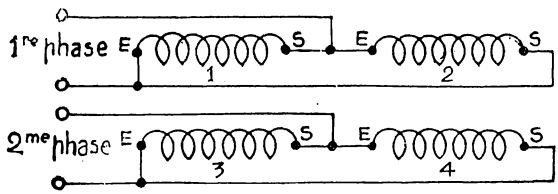



FIG. 336. — *Stator bipolaire d'un moteur asynchrone à courant diphasé. Montage parallèle.*

**Stator tétrapolaire.**

Huit bobines réparties sur la circonférence du stator, c'est-à-dire quatre bobines par phase (une bobine par pôle).

*a*) Cas des bobines en série. Les deux bornes d'une phase sont ainsi constituées : première borne : entrée de la première bobine. La sortie de cette dernière reliée à la sortie de la quatrième bobine ; l'entrée de la quatrième à l'entrée de la troisième ; la sortie de la troisième à la sortie de la deuxième ; la deuxième borne est donc l'entrée de la deuxième bobine (fig. 337).

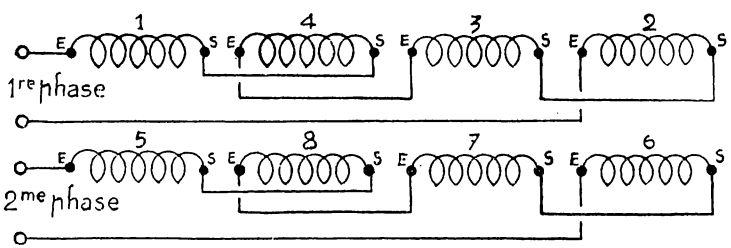



FIG. 337. — *Stator tétrapolaire d'un moteur asynchrone à courant diphasé. Montage série.*

Pour la deuxième phase : Une borne est reliée à l'entrée de la cinquième bobine, l'autre borne à l'entrée de la sixième bobine. Les bobines 5, 6, 7, 8 étant reliées comme précédemment.

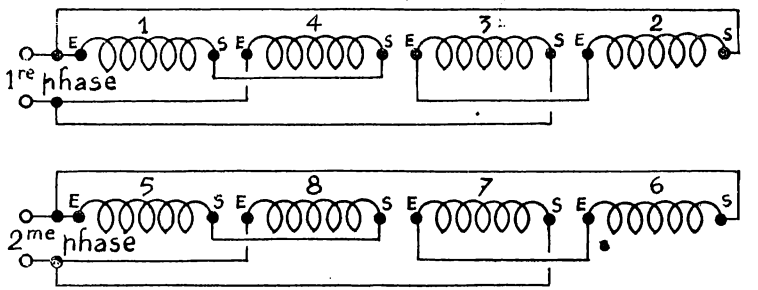



FIG. 338. — *Stator tétrapolaire d'un moteur asynchrone à courant diphasé. Montage parallèle.*

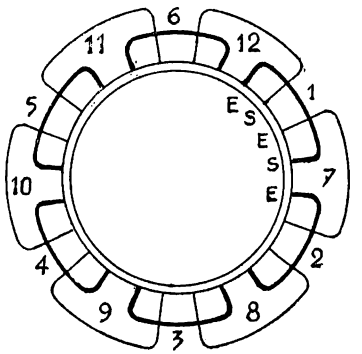



FIG. 339. — *Disposition des bobines sur un stator à 6 pôles d'un moteur asynchrone à courant diphasé. Les bobines sont numérotées de 1 à 12 : 1 à 6 pour la première phase, 7 à 12 pour la deuxième phase. — E et S = entrée et sortie d'une bobine.*

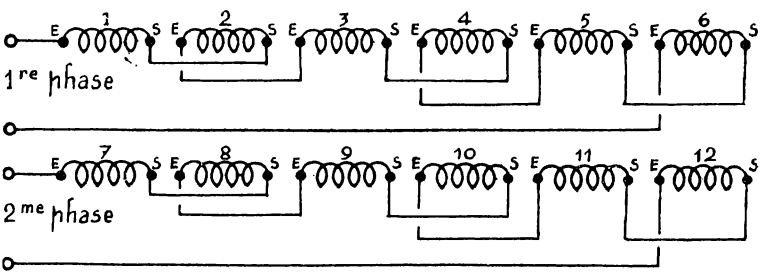



FIG. 340. — *Stator à 6 pôles d'un moteur asynchrone à courant diphasé. Montage série.*

Il est bien évident que la numérotation est arbitraire, elle sert simplement de repère. On aurait pu prendre les bobines dans l'autre sens. L'entrée d'une bobine serait devenue la sortie et inversement.

*b*) Cas des bobines en parallèle. Chaque phase comprend quatre bobines, aux deux bornes relatives à une phase se trouvent deux circuits en parallèle, comprenant chacun deux bobines en série (fig. 338).

Le premier circuit par exemple comprend : deux bobines voisines, reliées de telle façon qu'elles soient parcourues par des courants de sens inverse. C'est-à-dire la sortie de la première bobine reliée à la sortie de la deuxième. Le deuxième circuit est constitué par les bobines suivantes, de la même phase.

**Stator à six pôles.**

Douze bobines pour les deux phases, c'est-à-dire : une bobine par pôle et par phase (fig. 339).

*a*) Cas des bobines en série : Le circuit de chaque phase comprend les six bobines en série, reliées de telle façon, que le courant dans deux bobines consécutives, de la même phase, soit de sens contraire (fig. 340).

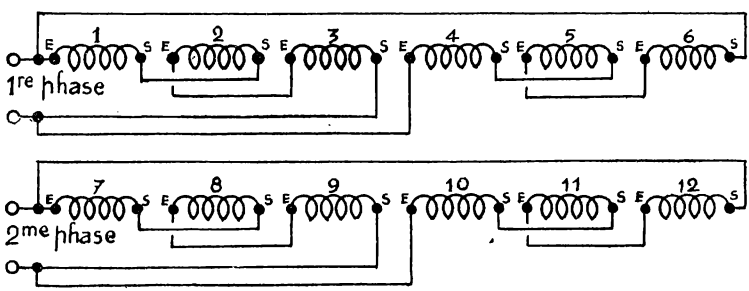



FIG. 341. — *Stator à 6 pôles d'un moteur asynchrone à courant diphasé. Montage parallèle.*

*b*) Cas des bobines en parallèle : Deux circuits en parallèle par phase, comprenant chacun trois bobines consécutives en série. Les polarités étant toujours respectées dans les bobines (fig. 341).

On pourrait ainsi continuer pour un stator à huit pôles. Il y aurait donc seize bobines, soit une bobine par pôle et par phase.

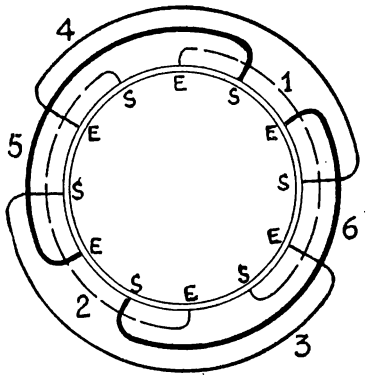



FIG. 342. — *Disposition des bobines sur un stator bipolaire d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Les bobines sont numérotées de* 1 *à* 6 *:* 1 *et* 2 *pour la première phase ;* 3 *et* 4 *pour la deuxième ;* 5 *et* 6 *pour la troisième.*

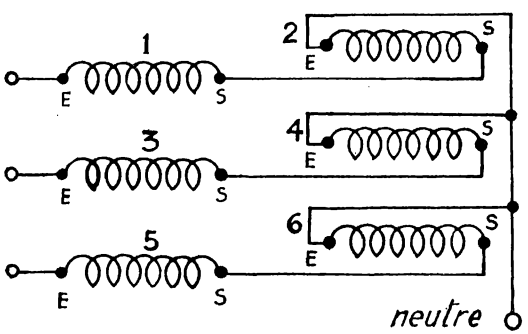



FIG. 343. — *Stator bipolaire d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Montage étoile-série.*

## *II. — COURANT TRIPHASE*

**Stator bipolaire.**

Une bobine par pôle et par phase, soit six bobines (deux par phase) (fig. 342).

a) *Montage étoile-série.*

Pour chaque phase, les deux bobines sont reliées en série ; la sortie de la première à la sortie de la deuxième (de façon à respecter les polarités). Les trois bornes sont ainsi constituées par les trois entrées de chaque groupement. La quatrième borne est le point neutre ; c'est la réunion des entrées restant libres de chaque groupement de deux bobines en série (fig. 343).

b) *Montage étoile-parallèle.*

Deux bobines en parallèle par phase, en respectant les polarités Nord-Sud ; c'est-à-dire l'entrée de la première

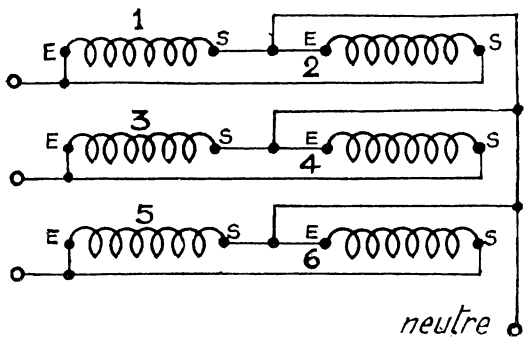



FIG. 344. — *Stator bipolaire d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Montage étoile-parallèle.*

bobine et la sortie de la deuxième constituent une borne, la sortie de la première reliée à l'entrée de la deuxième constitue le point neutre (fig. 344).

c) *Montage triangle-série.*

La sortie de la bobine 1 reliée à la sortie de la bobine 2. La borne 1 est reliée d'une part, à l'entrée de la bobine 1,

d'autre part, à l'entrée de la bobine 6. Enfin, l'entrée de la bobine 2 est reliée à la borne 2. Il est facile de continuer ainsi, jusqu'à épuisement des six bobines, constituant les trois phases (fig. 345).

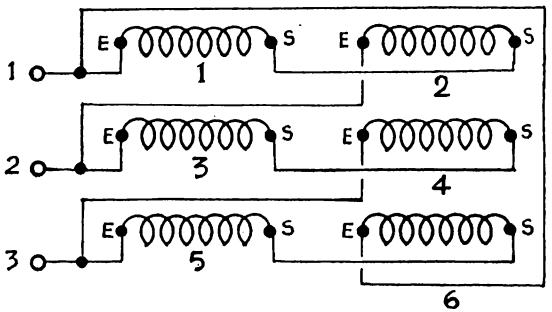



FIG. 345. — *Stator bipolaire d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Montage triangle-série.*

d) *Montage triangle-parallèle.*

Chaque groupement de deux bobines est ainsi constitué. La borne 1 est reliée d'une part, à l'entrée de la bobine 1, et à la sortie de la bobine 2 ; d'autre part, à la sortie de la

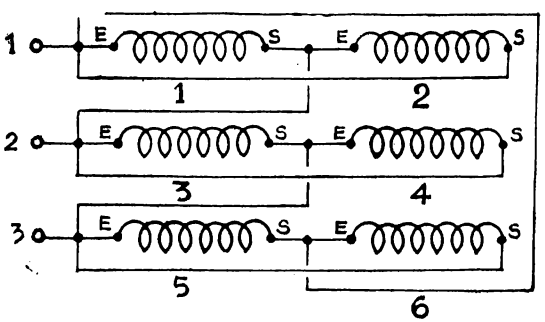



FIG. 346. — *Stator bipolaire d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Montage triangle-parallèle.*

bobine 5 connectée à l'entrée de la bobine 6. Enfin, le point commun, sortie de la bobine 1 et entrée de la bobine 2 reliée à la borne 2 (fig. 346).

**Stator tétrapolaire.**

Il y a six bobines réparties sur la circonférence du stator. Une bobine pour deux pôles et par phase, soit deux bobines par phase (fig. 347).

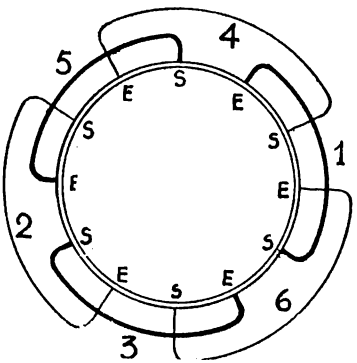



FIG. 347. — *Disposition des bobines sur un stator tétrapolaire d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Les bobines sont numérotées de 1 à 6 : 1 et 2 pour la phase 1 ; 3 et 4 pour la phase 2 ; 5 et 6 pour la phase 3.*

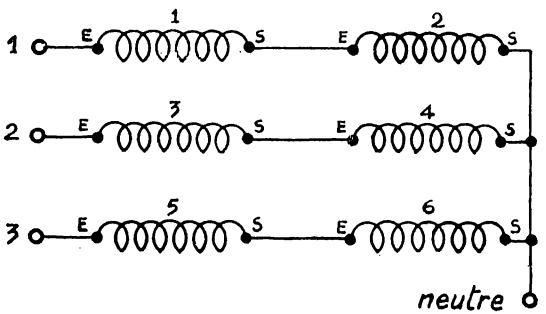



FIG. 348. — *Stator tétrapolaire d'un moteur asynchrone à courant triphasé. Montage étoile-série.*

a) *Montage étoile-série.*

La borne 1, par exemple, est reliée à l'entrée de la bobine 1, la sortie de cette dernière à l'entrée de la bobine 2, et la sortie de la bobine 2 au point neutre. De même en partant des bornes 2 et 3 (fig. 348).

b) *Montage étoile-parallèle.*

La borne 1 est reliée à l'entrée des bobines 1 et 2. Les sorties de ces dernières, au point neutre. De même en partant des bornes 2 et 3 (fig. 349).

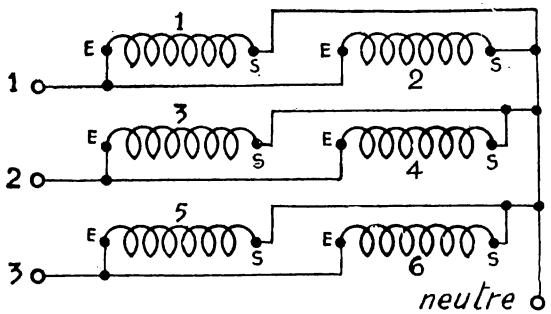



FIG. 349. — *Stator tétrapolaire d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Montage étoile-parallèle.*

c) *Montage triangle-série.*

Dans chaque groupement de deux bobines, la sortie de la première est reliée à l'entrée de la deuxième. L'entrée de la première étant reliée à la borne de la phase et à la sortie de la deuxième bobine du dernier groupement. L'entrée de la deuxième bobine est reliée à la borne du deuxième groupement (fig. 350).

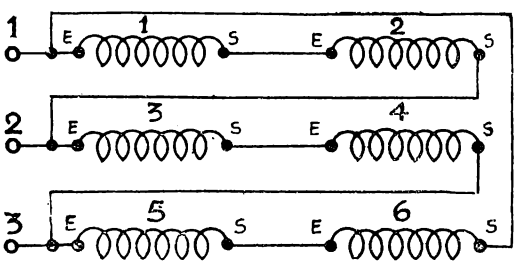



FIG. 350. — *Stator tétrapolaire d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Montage triangle-série.*

d) *Montage triangle-parallèle.*

Dans chaque groupement, l'entrée de la première bobine est reliée à l'entrée de la deuxième et à la borne correspondante. Les sorties de ces mêmes bobines sont reliées à la borne du troisième groupement (fig. 351).

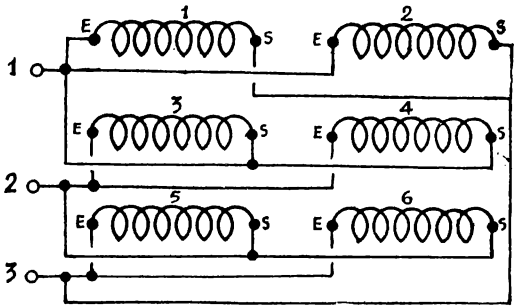



FIG. 351. — *Stator tétrapolaire d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Montage triangle-parallèle.*

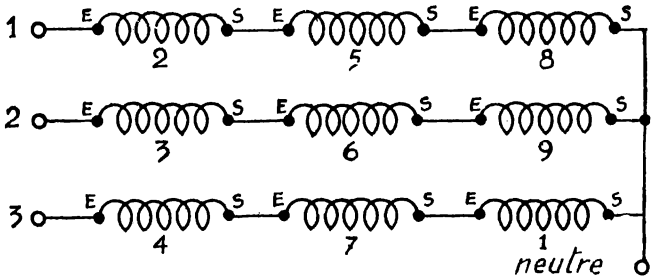



FIG. 352. — *Stator à six pôles d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Montage étoile-série.*
*Voir la disposition des bobines sur la figure* 329.

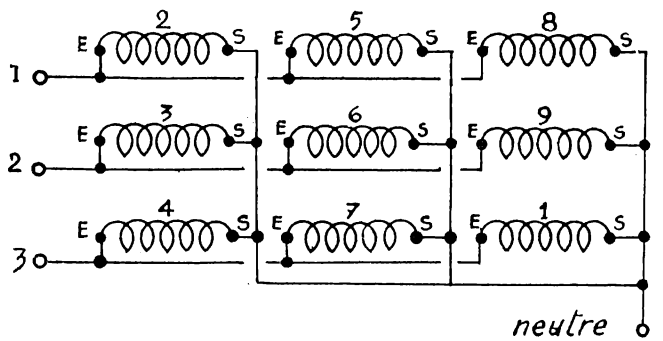



FIG. 353. — *Stator à six pôles d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Montage étoile-parallèle.*

**Stator à six pôles.**

Il y a trois bobines par phase, soit neuf bobines réparties sur la périphérie du stator.

a) *Montage étoile-série.*

Chaque groupement comprend trois bobines reliées en série. L'entrée de la première bobine reliée à la borne correspondante, la sortie de la troisième reliée en point neutre (fig. 352).

b) *Montage étoile-parallèle.*

Dans chaque groupement, les entrées des trois bobines sont reliées à la borne correspondante, les sorties de ces mêmes bobines étant reliées au point neutre (fig. 353).

c) *Montage triangle-série.*

Les trois bobines de la phase sont reliées en série. L'entrée de la première est connectée à la borne correspondante et à la sortie de la dernière borne de la troisième phase. La sortie de la troisième bobine du groupement considéré est reliée à la borne de la phase suivante (fig. 354).

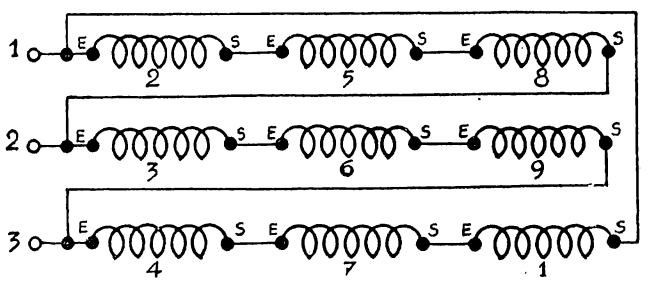



FIG. 354. — *Stator à six pôles d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Montage triangle-série.*

d) *Montage triangle-parallèle.*

Les trois bobines de la phase ont leurs entrées reliées à la borne correspondante, les sorties reliées à la borne de la troisième phase (fig. 355).

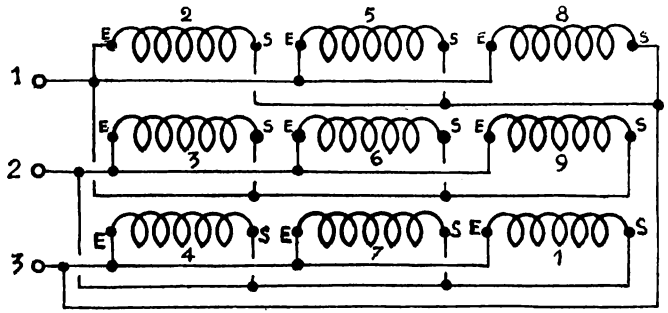



FIG. 355. — *Stator à six pôles d'un moteur asynchrone à courant triphasé. — Montage triangle-parallèle.*

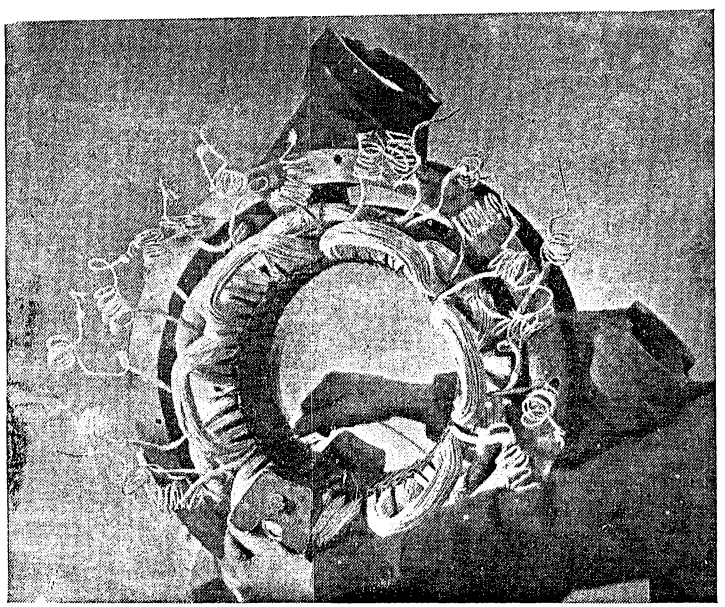


FIG. 356. — *Stator à 12 bobines en cours de bobinage.*

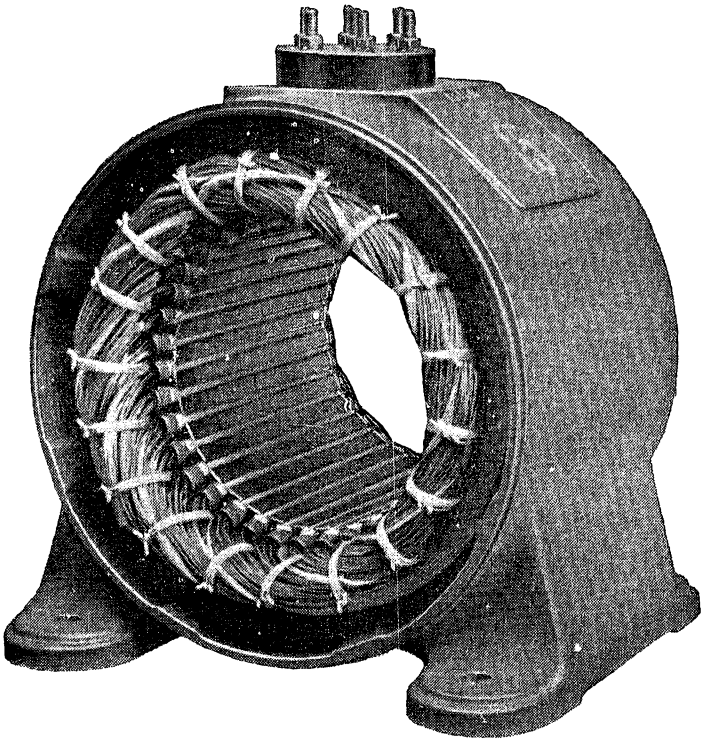


FIG. 357. — *Stator bobiné par sections préparées.*

**Les rotors bobinés.**

Les rotors à cage d'écureuil conviennent surtout pour des moteurs de petite puissance supportant un démarrage brusque.

En effet, le moteur asynchrone se comporte comme un transformateur. Le stator en constitue le primaire et le rotor le secondaire. Au démarrage, le rotor est le siège de courants induits considérables, qui risquent de détériorer les soudures des barres. Pour les moteurs de puissance supérieure, exigeant un démarrage progressif, il faut avoir recours à des rotors bobinés dans le circuit desquels on insère des résistances (rhéostat), de façon à limiter l'intensité au démarrage.

Les rotors bobinés comportent presque toujours des enroulements triphasés, en triange ou en étoile, et ceci, quel que soit le genre du moteur, stator triphasé ou diphasé.

Ces enroulements aboutissent à trois bagues sur lesquelles frottent trois ou six balais réunis au rhéostat. Après démarrage du rotor, et lorsque la vitesse est normale, on isole les balais des bagues.

Les bobines sont fixées dans des encoches dont le nombre ne doit pas être le même que celui du stator. Si le stator

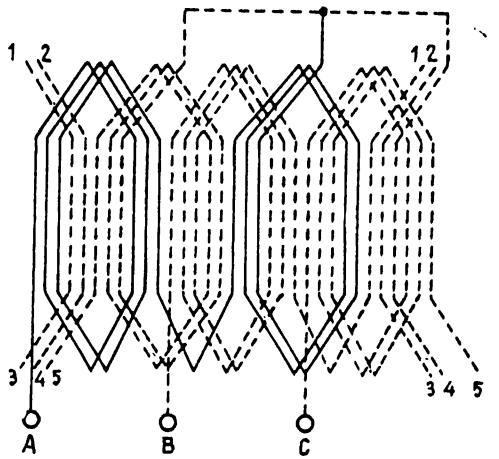



FIG. 358. — *Enroulement imbriqué à 4 pôles pour un rotor bobiné.*

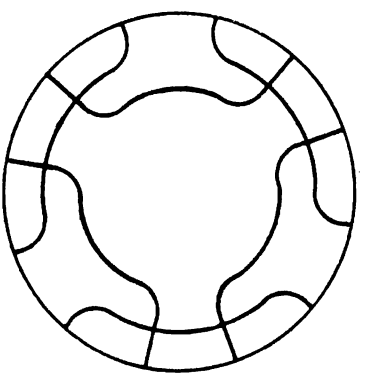


FIG. 359. — *Répartition des enroulements sur un rotor bobiné.*

et le rotor possédaient le même nombre d'encoches, il pourrait se faire qu'au démarrage les encoches coïncident, le moteur ne démarrerait pas, ce dernier se comportant comme un transformateur. La meilleure solution consiste à donner au stator et au rotor des nombres d'encoches différents.

Les rotors bobinés en conducteurs de cuivre isolés avec introduction d'un rhéostat de démarrage sont dits « rotors à bagues ». Ils doivent comporter autant de pôles que les inducteurs.

La figure 358 représente un enroulement imbriqué à quatre pôles. Les bornes ABC sont réunies en un même point, par l'intermédiaire du rhéostat de démarrage. On voit donc que les trois enroulements sont fermés sur eux-mêmes.

La disposition des six bobines (une bobine par paire de pôles et par phase) sur le rotor, est la suivante (fig. 359).

**Connexions entre bobines d'un rotor de moteur asynchrone triphasé.**

Nous venons de voir qu'un rotor comporte toujours des enroulements triphasés. Le montage en étoile des bobines est seul employé. Voyons les connexions à établir entre bobines, selon que l'on considère le stator bipolaire ou tétrapolaire d'un moteur asynchrone.

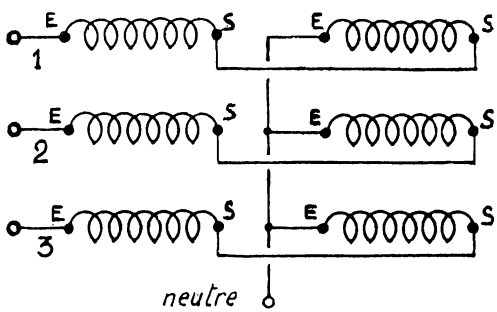



FIG. 360. — *Rotor triphasé bipolaire — pour stator bipolaire, 1 bobine par pôle et par phase — (6 bobines). Le neutre fait masse avec le rotor. — Montage des bobines en étoile.*

CAS D'UN STATOR BIPOLAIRE. — Le rotor sera également bipolaire, puisqu'il doit comporter le même nombre de pôles que son stator. Il y aura six bobines réparties dans les encoches du rotor, soit une bobine par pôle et par phase. Les deux bobines relatives à une phase sont connectées de telle façon que les polarités soient contraires, c'est-à-dire la sortie de la première bobine reliée à la sortie de la deuxième. L'entrée de la première est reliée à la bague du rotor, l'entrée de la deuxième reliée au point neutre. Souvent ce dernier fait partie de la masse même du rotor (fig. 360).

Cas d'un stator tétrapolaire. — Les bobines d'une phase sont montées en série. L'entrée de la première bobine est reliée à une bague, la sortie de la deuxième à la masse du rotor (fig. 361).

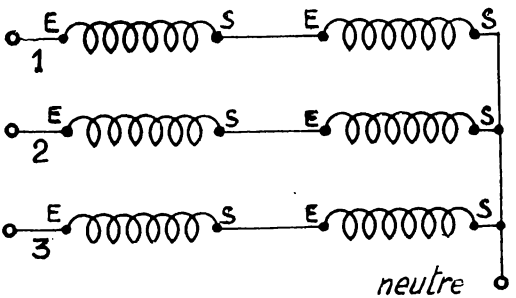



Fig. 361. — *Rotor triphasé tétrapolaire pour stator tétrapolaire. 1 bobine par paire de pôles et par phase (6 bobines). Le neutre fait masse avec le rotor. — Montage des bobines en étoile.*

**Rebobinage des stators et des rotors des moteurs asynchrones.**

Lorsque les encoches sont fermées ou demi-fermées, avec une largeur de fente inférieure au diamètre du fil, on est obligé de recourir au bobinage direct (bobines non préparées à l'avance) ou bobinage à fils tirés.

Après avoir isolé les encoches convenablement (avec des feuilles de presspahn), on introduit dans ces dernières des aiguilles d'acier ayant même diamètre que le conducteur à utiliser pour le bobinage. Le nombre des aiguilles à introduire dans une encoche doit être égal au nombre de conducteurs qui la garnira.

La mise en place du fil se fait de la façon suivante :

On présente le fil devant l'encoche, en l'introduisant à la place d'une aiguille que l'on retire. On passe ensuite à l'encoche suivante, que doit occuper le fil en présentant ce dernier par la face arrière de l'encoche et l'on revient à la première, en continuant ainsi jusqu'à épuisement des aiguilles.

Les fils extérieurs aux encoches sont ensuite vernis de plusieurs couches de vernis à la gomme laque. On réunit ensemble les fils allant d'une encoche à l'autre en les ligaturant avec du ruban jaconas, ou bien encore avec de la ficelle.

Lorsque les encoches sont ouvertes par une fente supérieure au diamètre du fil à introduire, on pratique le bobinage par sections préparées à l'avance sur un gabarit.

Les fils sont introduits un à un dans l'encoche et tassés au moyen d'un outil, de façon que tous les fils du faisceau puissent se loger dans la même encoche. Les côtés sont ensuite rabattus de part et d'autre sur la carcasse du stator, après avoir été isolés comme dans le cas du bobinage direct. L'on procède ainsi pour toutes les sections à placer. Les encoches sont fermées en rabattant la feuille de presspahn et en glissant une cale de bois.

**Isolation des encoches.**

L'isolation des encoches doit être faite très soigneusement. Il faut, avant de placer la feuille de presspahn, s'assurer qu'il n'y a aucune bavure pouvant blesser l'isolant. Au besoin, enlever les rugosités à la lime douce.

S'il s'agit d'un rebobinage, il faut débarrasser l'encoche du vieil isolant et du vernis. Pour cette opération, on peut recourir à la flamme d'un chalumeau à gaz. Gratter ensuite les encoches avec un outil spécial.

Suivant le type de l'encoche, le presspahn se place différemment. Ainsi, dans le type fermé ou demi-fermé à fente très petite, on confectionne un tube ayant les dimensions de l'encoche, que l'on introduit dans cette dernière. Laisser déborder le carton de part et d'autre de quelques millimètres (fig. 362).

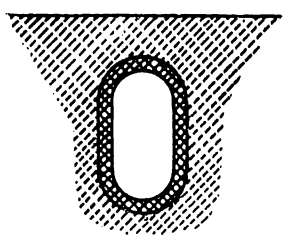


FIG. 362. — *Isolation d'une encoche fermée.*

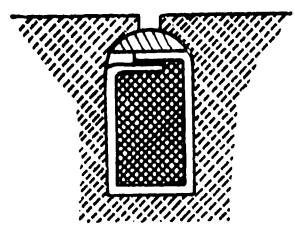


FIG. 363. — *Isolation d'une encoche demi-fermée.*

Dans les encoches demi-fermées avec une fente assez large, on place une feuille de presspahn en forme de U, que l'on laisse déborder dans le haut, de façon à pouvoir rabattre les côtés à l'intérieur de l'encoche. Le bobinage étant effectué, on rabat les côtés et l'on place une cale de bois dans toute la longueur de l'encoche afin de bien maintenir les bobines (fig. 363).

Cette cale de fibre ou de bois devra dépasser au moins de 3 mm les couronnes de garde. Dans les encoches des moteurs monophasés à deux enroulements, l'enroulement de démarrage devra être séparé de l'enroulement principal par une fibre ayant la largeur de l'encoche (fig. 364).

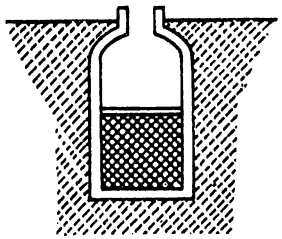


FIG. 364. — *Séparation des deux enroulements dans une encoche de moteur monophasé.*

Souvent, on intercale une feuille d'amiante entre les deux enroulements.